



**T. C.**

**ORDU ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BENTONİT UYGULAMASININ BUĞDAY ÇEŞİTLERİNDE  
KADMİYUM ALIMINA ETKİSİ**

**DİLEK ECE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI**

**ORDU 2022**



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

**Dilek ECE**

**Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün B-2001 numaralı projesi ile desteklenmiştir.**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

### BENTONİT UYGULAMASININ BUĞDAY ÇEŞİTLERİNDE KADMIYUM ALIMINA ETKİSİ

Dilek ECE

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 60 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. Faruk ÖZKUTLU)

Kadmiyum toprakta düşük miktarda bile olsa buğdaya taşınabilme ve kolaylıkla birikmesi sonucunda besin zincirine dahil olmaktadır. Bu çalışmada bentonit uygulamasının ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde kuru madde verimi, kadmiyum (Cd) alımı ve mineral besin elementleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

Çalışma sera koşullarında saksı denemesi olarak Cd (0, 5 ve 10 mg kg<sup>-1</sup> toprak) dozlarıyla kirletilmiş topraklara aktivesiz ve aktiveli bentonit (%0, %3, %6 ve %12 toprak) uygulanarak ekmeklik (Bayraktar) ile makarnalık (Mirzabey) buğday çeşitleri yetiştirilmiştir.

Denemeden elde edilen sonuçlar, Cd'nin (0, 5 ve 10 mg kg<sup>-1</sup>) üç dozunda da artan dozlarda bentonit uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayların kuru madde ağırlığının p<0.05 düzeyinde arttığı belirlenmiştir. Cd'nin 3 dozunda da aktivesiz ve aktiveli bentonitin kuru madde verimindeki etkisi birbirinden farklı olmuştur. Bentonit uygulamalarıyla, ekmeklik buğdayların makarnalık buğdaylara göre daha fazla kuru madde ürettiği saptanmıştır. Artan dozlarda aktivesiz ve aktiveli bentonit uygulamalarında, makarnalık buğdayların kontrol (Cd0+%0 bentonit) uygulamalarında, kuru madde miktarı sırasıyla 230 mg bitki<sup>-1</sup> ve 180 mg bitki<sup>-1</sup> iken %12 aktivesiz ve aktiveli bentonit uygulamasıyla kuru madde veriminde %94 ile %431 oranında artış oluşturduğu bulunmuştur.

Aktivesiz ve aktiveli bentonitin artan dozlarının uygulanması sonucunda kontrole göre, ekmeklik ve makarnalık buğdayların Cd alımına olan etkisi incelendiğinde; ekmeklik buğdayın Cd alımını aktivesiz bentonitin 3.5 kat ve aktiveli bentonitin ise 5 kat azalttığı görülmüştür. Makarnalık buğdayda ise aktivesiz ve aktiveli bentonitin artan dozlarının uygulamalarında yaklaşık 4.5 kat Cd'yi düşürdüğü saptanmıştır. Cd kirliliği olan alanlarda bentonit uygulamalarının buğdayda bitki gelişimini arttırmanın yanısıra Cd alımını azaltmadaki etkinliği nedeniyle uygulanması önerilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır Metal, Bentonit, Ekmeklik Buğday, Kadmiyum, Makarnalık Buğday

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF THE APPLICATION OF BENTONITE ON THE INTAKE OF CADMIUM INTO WHEAT VARIETIES.

Dilek ECE

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION

MASTER'S THESIS, 60 PAGES

(SUPERVISOR: Prof. Dr. Faruk ÖZKUTLU)

Cadmium is included in the food chain as a result of being transported to wheat even in small amounts in the soil and accumulating easily. In this study, the effects of bentonite application on dry matter yield, cadmium (Cd) uptake and mineral nutrients in bread and durum wheat varieties were investigated.

In the greenhouse conditions, as a pot experiment, inactive and activated bentonite (0%, 3%, 6% and 12% soil) was applied to soils contaminated with Cd (0, 5 and 10 mg kg<sup>-1</sup> soil) and used for bread (Bayraktar) and durum (Mirzabey) wheat varieties were grown.

The study found that the three Cd doses (0, 5, and 10 mg kg<sup>-1</sup>) and the ratio of bentonite applications to dry matter weight of bread and durum wheat statistically increased ( $p < 0.05$ ). In addition, the effect of non-activated and activated bentonite on dry matter yield was different among the three Cd doses. Bread wheat was found to produce more dry matter compared to durum wheat depending on bentonite application. As the amount of non-activated and activated bentonite increased, the dry matter content of durum wheat in the control group (Cd0+0 bentonite) was 230 mg plant<sup>-1</sup> and 180 mg plant<sup>-1</sup>, respectively. The rate of increase in dry matter yield was reported to be 94% and 431%, based on a 12% rate of application of non-activated and activated bentonite.

As a result of the application of increasing doses of inactivated and activated bentonite, when the effect of bread and durum wheat on Cd uptake compared to the control; It was observed that the Cd uptake of bread wheat decreased by 3.5 times with unactivated bentonite and by 5 times with activated bentonite. In durum wheat, on the other hand, it was determined that increasing doses of non-activated and activated bentonite decreased Cd by 4.5 times in their applications. In areas with Cd pollution, bentonite applications can be recommended due to its effectiveness in increasing plant growth in wheat as well as reducing Cd uptake.

**Keywords:** Bentonite, Bread Wheat, Cadmium, Durum Wheat, Heavy Metal.

## TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi, yazımı esnasında; bilgi birikimi, sabrı ve anlayışıyla bana toprak ve bitki bilimi konusunda yeni bir bakış açısı kazandıran başta danışman hocam Sayın Prof. Dr. Faruk ÖZKUTLU'ya teşekkür ederim. Denemenin kurulması, analiz süreçlerinin tamamlanması, tez yazımı gibi süreçlerde desteklerini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Özlem ETE AYDEMİR'e ve istatistiksel alanda yardımlarıyla çalışmanın doğru sonuçlanabilmesine destek veren Arş. Gör. Dr. Mehmet AKGÜN'e teşekkür ederim.

Aynı zamanda, tüm oyun saatlerinde çalışmak zorunda olduğum, bir çok yarışma ve müsabakasına katılamadığım; ancak bu durumu yaşının çok üstünde olgunlukla karşılayan canım oğlum Arda Bera ECE'ye teşekkür ederim. Tüm hayatımı benim ve kardeşlerimin eğitimine adayan maddi ve manevi destekleriyle her zaman güçlü hissetmemi sağlayan canım annem Ayşe MARAL ve canım babam Sezai MARAL'a ve tüm aile bireylerime teşekkür ederim. Verdiğim her kararda yanımda olan ve bana inanan canım eşim Fatih ECE'ye de teşekkür ederim.

Bu çalışma, Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi (ODÜBAP) tarafından B-2001 numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye sağlanan imkanlardan dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	IV
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	V
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	VI
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	VIII
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	IX
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	4
2.1 Bentonit.....	4
2.2 Tarımsal Üretimde Bentonitin Kullanımı.....	6
2.3 Kadmiyum.....	8
2.3.1 Kadmiyumun Genel Özellikleri ve Literatür Bilgileri.....	8
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	12
3.1 Materyal.....	12
3.1.1 Deneme Yeri ve Yılı.....	12
3.1.2 Toprak Materyali.....	12
3.1.3 Bitki Materyali.....	13
3.1.4 Bentonit Materyali.....	13
3.2 Yöntem.....	13
3.2.1 Toprak Örneklerine Yapılan Analizler.....	13
3.2.2 Saksı Denemesinin Yürütülmesi.....	14
3.2.3 Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler.....	15
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	16
4.1 Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi (mg bitki <sup>-1</sup> ).....	16
4.2 Yeşil Aksam Kadmiyum Konsantrasyonu (mg kg <sup>-1</sup> ).....	28
4.3 Bentonit Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayların Fosfor (P), Potasyum (K), Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg) Konsantrasyonları Üzerine Etkisi.....	35
4.3.1 Yeşil Aksam Fosfor Konsantrasyonu (%).....	36
4.3.2 Yeşil Aksam Potasyum Konsantrasyonu (%).....	38
4.3.3 Yeşil Aksam Kalsiyum Konsantrasyonu (%).....	40
4.3.4 Yeşil Aksam Magnezyum Konsantrasyonu (%).....	41
4.4 Bentonit Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayların Demir (Fe), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Mangan (Mn) ve Bor (B) Konsantrasyonları Üzerine Etkisi.....	43
4.4.1 Yeşil Aksam Demir Konsantrasyonu (mg kg <sup>-1</sup> ).....	43
4.4.2 Yeşil Aksam Bakır Konsantrasyonu (mg kg <sup>-1</sup> ).....	46
4.4.3 Yeşil Aksam Çinko Konsantrasyonu (mg kg <sup>-1</sup> ).....	48
4.4.4 Yeşil Aksam Mangan Konsantrasyonu (mg kg <sup>-1</sup> ).....	50
4.4.5 Yeşil Aksam Bor Konsantrasyonu (mg kg <sup>-1</sup> ).....	52
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	54
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	56
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	60

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şeki 2.1</b> Bentonit Ocağı .....	4
<b>Şekil 2.2</b> Bentonitin Kristal Yapısı .....	5
<b>Şekil 2.3</b> Silisyum Tetrahedral ve Alüminyum Oktahedral .....	5
<b>Şekil 4.1</b> Cd0 ve Aktivesiz %0, %3, %6, %12 Bentonitin Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı.....	19
<b>Şekil 4.2</b> Cd0 ve Aktivesiz Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki <sup>-1</sup> ).....	19
<b>Şekil 4.3</b> Cd0 Dozunda Aktivesiz Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Verimi .....	20
<b>Şekil 4.4</b> Cd0 ve Aktivesiz Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki <sup>-1</sup> ).....	20
<b>Şekil 4.5</b> Cd0 ve Aktiveleli %0, %3, %6, %12 Bentonitin Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Verimi .....	21
<b>Şekil 4.6</b> Cd0 ve Aktiveleli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki <sup>-1</sup> ).....	21
<b>Şekil 4.7</b> Cd0 ve Aktiveleli %0, %3, %6, %12 Bentonitin Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Verimi .....	22
<b>Şekil 4.8</b> Cd0 ve Aktiveleli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki <sup>-1</sup> ).....	22
<b>Şekil 4.9</b> Cd5 ve Aktivesiz %0, %3, %6, %12 Bentonitin Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Verimi .....	23
<b>Şekil 4.10</b> Cd5 ve Aktivesiz Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki <sup>-1</sup> ).....	23
<b>Şekil 4.11</b> Cd10 Dozunda Aktiveleli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Verimi .....	24
<b>Şekil 4.12</b> Cd10 ve Aktiveleli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki <sup>-1</sup> ).....	24
<b>Şekil 4.13</b> Cd10 Dozunda Aktiveleli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Verimi .....	25
<b>Şekil 4.14</b> Cd10 ve Aktiveleli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki <sup>-1</sup> ).....	25
<b>Şekil 4.15</b> Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın Aktivesiz ve Aktiveleli Bentonit Uygulamalarında Ortalama Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki <sup>-1</sup> )....	26
<b>Şekil 4.16</b> Aktivesiz ve Aktiveleli Bentonit Dozlarının Artan Oranlarda Uygulamalarının Ortalama Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki <sup>-1</sup> ) ....	27
<b>Şekil 4.17</b> Aktivesiz Bentonit Uygulamalarının Ekmeklik Buğdayın Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg <sup>-1</sup> ) .....	28
<b>Şekil 4.18</b> Aktiveleli Bentonit Uygulamalarının Ekmeklik Buğdayın Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg <sup>-1</sup> ) .....	29
<b>Şekil 4.19</b> Aktivesiz Bentonit Uygulamalarının Makarnalık Buğdayın Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg <sup>-1</sup> ) .....	31
<b>Şekil 4.20</b> Aktiveleli Bentonit Uygulamalarının Makarnalık Buğdayın Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg <sup>-1</sup> ) .....	32



<b>Şekil 4.21</b> Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın Bentonit ve Cd Uygulamalarıyla Ortalama Yeşil Aksam Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) ..	33
<b>Şekil 4.22</b> Cd10 Dozunda Ekmeklik Buğday, %0 Aktiveli Bentonit ve %12 Aktiveli Bentonit Uygulmasıyla Bitkide Yeşil Aksam Değişimi.....	34
<b>Şekil 4.23</b> Cd10 Dozunda Makarnalık Buğday, %0 Aktiveli Bentonit ve %12 Aktiveli Bentonit Uygulmasıyla Bitkide Yeşil Aksam Değişim.....	35
<b>Şekil 4.24</b> Aktivesiz ve Aktiveli Bentonit Uygulamalarıyla Ortalama P Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%) .....	36
<b>Şekil 4.25</b> Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın Bentonit Uygulamaları Sonucu Ortalama K Konsantrasyon Üzerine Etkisi (%) .....	38
<b>Şekil 4.26</b> Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın Bentonit ve Cd Uygulamaları Sonucunda Yeşil Aksam Ca Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%) .....	40
<b>Şekil 4.27</b> Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın, Bentonit ve Cd Uygulamaları Sonucunda Yeşil Aksam Fe Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	43
<b>Şekil 4.28</b> Artan Cd Doz Uygulamaları Karşısında Ortalama Fe Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) .....	44
<b>Şekil 4.29</b> Aktivesiz ve Aktiveli Bentonit Uygulamalarıyla Ortalama Cu Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) .....	46
<b>Şekil 4.30</b> Aktivesiz ve Aktiveli Bentonit Uygulamalarıyla Ortalama Zn Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) .....	48

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 3.1</b> Denemede Kullanılan Toprağın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	12
<b>Çizelge 3.2</b> Denemede Kullanılan Aktivesiz ve Aktiveli Bentonitin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	13
<b>Çizelge 4.1</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kuru Madde Üzerine Etkisi ( $\text{mg bitki}^{-1}$ ).....	18
<b>Çizelge 4.2</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) .	30
<b>Çizelge 4.3</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%).....	37
<b>Çizelge 4.4</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Potasyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%) .....	39
<b>Çizelge 4.5</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kalsiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%).....	41
<b>Çizelge 4.6</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Magnezyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%) .....	42
<b>Çizelge 4.7</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Demir Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	45
<b>Çizelge 4.8</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Bakır Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) .....	47
<b>Çizelge 4.9</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Çinko Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) .....	49
<b>Çizelge 4.10</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Mangan Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	51
<b>Çizelge 4.11</b> Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamasının, Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Bor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) .....	53

## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

---

<b>AAS</b>	: Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresi
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Alüminyum Oksit
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>Ca</b>	: Kalsiyum
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	: Kalsiyum Karbonat
<b>CaO</b>	: Kalsiyum Oksit
<b>Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>x4H<sub>2</sub>O</b>	: Kalsiyum Nitrat Dekahidrat
<b>Cd</b>	: Kadmiyum
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>Cr</b>	: Krom
<b>DAP</b>	: Diamonyum Fosfat
<b>DTPA</b>	: Dietilen Triamin Pentaasetik Asit
<b>EC</b>	: Elektriksel İletkenlik
<b>FAO</b>	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
<b>Fe</b>	: Demir
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Demir Oksit
<b>H</b>	: Hidrojen
<b>HNO<sub>3</sub></b>	: Nitrik Asit
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	: Hidrojen Peroksit
<b>K</b>	: Potasyum
<b>KDK</b>	: Katyon Değişim Kapasitesi
<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>	: Potasyum Di Hidrojen Fosfat
<b>K<sub>2</sub>O</b>	: Potasyum Oksit
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>Mg</b>	: Magnezyum
<b>MgO</b>	: Magnezyum Oksit
<b>N</b>	: Azot
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	: Sodyum Oksit
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>P</b>	: Fosfor
<b>Pb</b>	: Kurşun
<b>pH</b>	: Ortamda Bulunan H <sup>+</sup> Konsantrasyonunun Logaritması
<b>ppm</b>	: Part Per Million (Milyonda Bir Kısım)
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silisyum dioksit
<b>TEBGE</b>	: Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>TiO<sub>2</sub></b>	: Titanyum Oksit
<b>USDA</b>	: ABD Tarım Bakanlığı
<b>Zn</b>	: Çinko
<b>WHO</b>	: World Health Organization

---

## 1. GİRİŞ

Hububatlar arasında pirinç ve mısır'dan sonra buğday (*Triticum aestivum L.*) en önemli hububat sınıfında yer almaktadır. Buğday dünyada insanlığın gıda ihtiyacının karşılanması açısından büyük bir öneme sahiptir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü tarafından yapılan açıklamaya göre her yıl dünya ölçeğinde 650 milyon ton buğday üretimi yapılmakta olduğu ve bu oranın dünya nüfusunun yarısından daha fazlasının ana besin kaynağını oluşturduğu belirtilmiştir (FAO, 2021). Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de buğday ve buğdaydan elde edilen gıda maddelerinin tüketimi birinci sırada yer almaktadır. Buğday geliştirmekte olan ülkeler ve Türkiye'de insan beslenmesindeki en temel besinlerin (unlu mamuller, makarna, irmik, bisküvi, bulgur) hammaddesi olması itibarıyla diğer tarımsal ürünlere göre daha fazla önem arz etmektedir. ABD Tarım Bakanlığının 2021/22 üretim sezonu projeksiyonlarına göre 2.8 milyar ton olan dünya toplam tahıl üretiminin %28'ini buğday üretimi oluşturmaktadır (USDA, 2022). 2021/22 itibarıyla dünya buğday ekim alanının %54.8'ini Hindistan, Rusya, AB, Çin ve ABD oluştururken, bu ülkeler dünya buğday üretiminin %65.1'ini oluşturmaktadır (FAO, 2022). Türkiye de ise buğday ekim alanları; dünya buğday ekim alanının %3.2'sini oluşturmaktadır (TUİK, 2021). Bu alan aynı zamanda Türkiye'de toplam ekilen tahıl alanının %44'ünü teşkil etmekte olup 69.2 milyon dekar'lık bir alanı kapsamaktadır (Polat, 2021). Dünya genelinde buğday üretiminin artırılmasına yönelik modern teknolojilerin kullanımı artmaktadır.

Dünya da gelişen teknolojinin insan yaşantısına getirdiği rahatlığın yanı sıra, bu modern teknolojilerin doğrudan veya dolaylı olarak doğaya verdiği kirliliğin boyutları da her geçen gün hızla artmaktadır. Çeşitli kaynaklardan çıkan katı, sıvı ve gaz halindeki kirletici maddelerin hava, su ve toprağa yüksek oranda karışması çevresel kirliliğe neden olmaktadır. Özellikle sanayi kuruluşlarının sıvı atıkları ile su kirliliğine; su kirliliğine bağlı olarak toprak ve bitki örtüsü üzerinde aşırı kirlenmelere neden olmaktadır (Kalpaklı, 2018). Çevresel kirlilikte ağır metallerin özellikle su ve toprak kirlenmesindeki rolü büyüktür. Ağır metallerle tarımsal üretim yapılan toprakların kirlenmesiyle dünya ölçeğinde bitkisel üretim için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Adrees ve ark., 2015; Rizwan ve ark., 2016). Ağır metallerden olan kadmiyum (Cd) topraklara çeşitli kaynaklardan girerek çok kolay birikebilmektedir.

Kadmiyum insanlar, hayvanlar ve bitkiler için gerekli bir element değildir. Kadmiyum çok düşük konsantrasyonlarda bile bitkilere ve insanlara toksik etki yapan bir elementtir. Kabata ve Pendias (1992) dünya tarım topraklarının ortalama Cd konsantrasyonunun  $0.53 \text{ mg kg}^{-1}$  olduğunu ve  $0.06-1.1 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değiştiğini açıklamıştır. Topraklardaki Cd konsantrasyonu düşük olmasına rağmen, insan beslenmesinde önemli rol oynayan mısır, çeltik, yulaf ve buğday gibi tahıllarda yüksek miktarlarda Cd birikimi görülebilmektedir. Diğer tahıllarla buğday karşılaştırıldığında buğdayın, kökleri vasıtasıyla Cd'yi daha fazla biriktirebilmekte ve taneye taşınması daha fazla olmaktadır (Jafarnejadi ve ark., 2011). Buğdayda Cd birikimi kökten sürgüne kolaylıkla taşınabilmektedir. Buğday tanesinde Cd birikimi ise kökten sürgüne ve gövdede ksilimden flome doğrudan taşınmasıyla gerçekleşmektedir (Harris ve ark., 2013). Bitkilerin yenilebilir kısımlarına taşınan Cd miktarı türler arasında önemli düzeyde farklılık göstermektedir. Hatta aynı türün genotipleri arasında da Cd biriktirme kapasitelerinde farklılıklar olmaktadır. Örneğin, makarnalık buğdayların ekmeklik buğdaylara göre yeşil aksam ve tanelerinde daha fazla Cd biriktirdiği de birçok araştırmada saptanmıştır (Özkutlu ve ark., 2007). Kadmiyum tanede yüksek miktarda birikmesi ve besin zinciri vasıtasıyla insana kolaylıkla geçebilmesi sonucunda beslenmeden dolayı ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Kadmiyum'un insanlarda fazlaca biriktiğinde akciğer, karaciğer, böbrek rahatsızlığı gibi çok ciddi sağlık sorunlarına yol açtığı açıklanmıştır (Özkutlu ve ark., 2007). Kadmiyum'un insanlarda önemli sağlık problemleri oluşturması nedeniyle WHO ve FAO tahıllarda Cd için maksimum tolere edilebilir limiti belirlemiştir. Buğdayın kuru maddesinde maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonu limitini  $0.1 \text{ mg kg}^{-1}$  olduğunu açıklamıştır (FAO, 2021; WHO, 2021). Buğday dünya ölçeğinde nüfusun %60'dan fazlasının enerji kaynağı olması ve Cd ile kirlenmiş alanlarda yetiştirilen buğdayda yüksek miktarda birikmesi nedeniyle son yıllarda buğdayda Cd birikiminin azaltılmasına yönelik araştırmalar hızla artmaktadır. Beslenmemizde rol oynayan yenilebilir bitkilere ve özellikle buğdayda Cd taşınımının engellenmesi için biochar, organik iyileştiriciler, mineral gübreler, çeşitli besin elementleri, hayvan gübresi, kompost ve bentonit gibi uygulamalar yapılmaktadır. Söz konusu inorganik mineral iyileştiricilerden bentonitin tarımda kullanımını giderek hızlanmaktadır.

Bentonit, montmorillonit ailesinin bir parçası olup %300 oranlarında su tutma kapasitesine sahip bir kil mineralidir. Bentonitler çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Örneğin, kağıt, deterjan, seramik, sondaj, döküm, lastik, ilaç ve kozmetik gibi alanlarda sıklıkla bulunur. Bentonit, geniş yüzey alanı, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, ara yüzey oluşturması, kolloidal özelliği ve yüksek katyon değişim kapasitesi nedeniyle topraklarda besin elementlerinin yayırlılığını arttırmaktadır. Bitkilerin büyümesi için gerekli olan rutubeti sağlaması ve bunu uzun süre koruması, bitkiye besin elementlerinin taşınması gibi önemli katkılar sağlamaktadır. Bu pozitif özellikleri nedeniyle tarımda da kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Yukarıda vurgulanan özelliklerinden başka ayrıca, bentonitin kullanımları arasında, sıvı veya süspansiyon halindeki gübrelerin yapımında stabilizatör olarak da kullanıldığı bildirilmektedir (Akbulut, 1996; Gücer, 1992). Bentonitin tarımsal alanlarda bitkisel üretimin gelişimini artırmadaki pozitif etkilerinden başka ağır metalleri adsorblaması nedeniyle çevre kirliliğinin azaltmasında önemli bir yer almaktadır (Stockmeyer ve Kruse, 1991). Bentonit simektit grubunun montmorolinit ailesine bağlı, iki tetrahedral tabakının arasında bir Al-oktohedral tabakısına sahip mineraldir (Şekil 2.3). Bu özelliğinden dolayı yüksek katyon değiştirme kapasitesi sayesinde ağır metalleri adsorblar. Tabakalar arasındaki değişebilir iyonların yer değiştirmesi sebebiyle bitkiye ağır metal taşınımını azaltmaktadır. Bu çalışmada, insan beslenmesinin temel besin kaynağı olan buğdayın Cd alımı üzerine aktivesiz bentonit uygulamalarının Cd miktarını azaltmadaki rolü araştırılmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

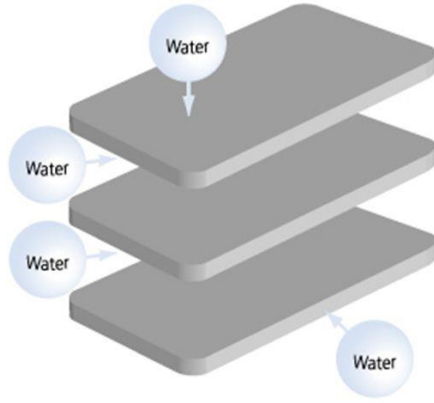
### 2.1 Bentonit

Doğal haliyle bentonit; yumuşak, kırılğan, ele dokunduğunda sabun hissi veren, ağızda hızlıca dağılma özelliği gösteren bir yapıdadır. Bentonit, gelişmiş sıvı emici ve kolloidal özelliği olan montmorillonit içeren killer olarak adlandırılır. Hemen hemen tamamı mono minerallerden oluşan bentonite volkanik tüflerin, kimyasal bileşimleri yavaş bir oluşum hızı ve buna bağlı düşük sıkışma ile difüzyon ortamında gerçekleşmesi sonucu oluşmuş olması muhtemeldir (Orhun, 2006).

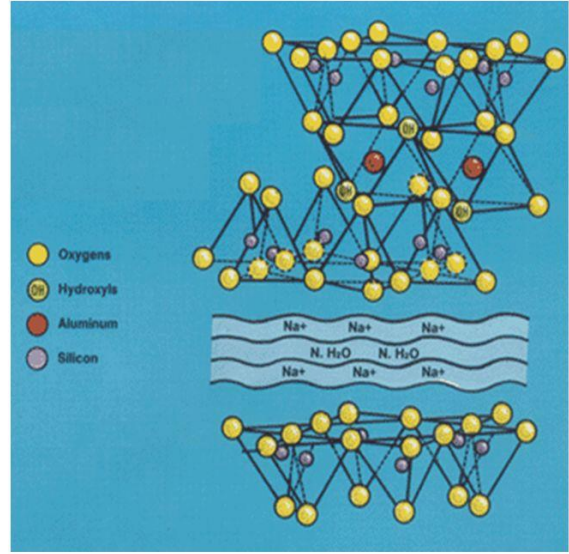


**Şeki 2.1** Bentonit Ocağı

Bütün bentonitler simektit grubu kil minerallerini içeren killerdir. Simektit kil mineralleri üç tabakalı bir yapı gösterir ve bu onların karakteristik özelliğidir. Tabakalar arasında su molekülleri ve değişebilen iyonlar yer alır. Mevcut bu tabakalar arasında su yerine organik moleküllerde girerek yapının genişlemesine neden olur. Bu özellik killerin şişmesi olarak tanımlanır (Özgüven ve Gündüz 2011; Abdelfattah ve ark., 2022).

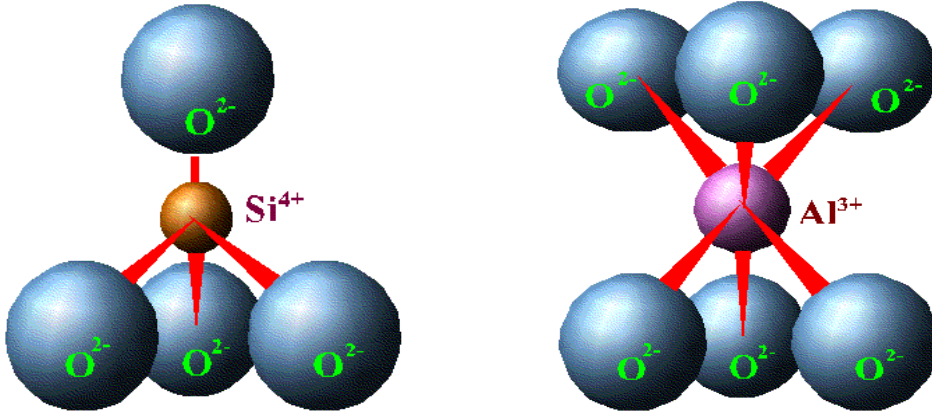


- Bir bentonite yapısının 3 tabakası



**Şekil 2.2** Bentonitin Kristal Yapısı

Montmorillonit (2:1) tipi kil olup bir oktahedral ve iki tetrahedral tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakalar, birbirine iyonik bağlarla birbirine zayıf Van der Waals kuvvetleri bağlıdır (Boylu, 2008). Üç katmanlı ve simektit grubu kiler genişleyen ve genişlemeyen olmak üzere iki alt gruba ayrılır.



**Şekil 2.3** Silisyum Tetrahedral ve Alüminyum Oktahedral

Birim hücrenin içlerindeki Si ve Al atomları daha az değerlikli atomlarla yer değiştirilebilirler. Bu olay yapının elektriksel dengesinin bozulmasına ve + yük eksikliğinden dolayı yüzeylerin negatif ve kenarların pozitif yüklü olmasına neden olur (Boylu, 2008). Bentonitin yaygın iki çeşidi doğada yer almaktadır. Hakim minerali Na olan Sodyum Bentonit ve hakim minerali Ca olan ise Kalsiyum Bentonit olarak tanımlanır. Bu tez çalışmasında Ca bentonit kullanılmıştır.



## 2.2 Tarımsal Üretimde Bentonitin Kullanımı

Bentonit adsorban olarak ağır metalleri olumsuz etkisini azaltmada sıklıkla kullanılmaktadır. Bentonit doğada bol miktarda bulunması, maliyetinin ucuz ve kolay ulaşılabilir olması gibi pozitif özelliklere sahiptir. Yapılan çalışmalarda çevreye toksik etkileri olan ağır metallerin bulunduğu ortamdan uzaklaştırılmasında adsorbsiyonun başarılı bir şekilde olduğu genel kanı haline gelmiştir.

Brohi ve ark., (1990) Kireçsiz kahverengi orman toprağına ilave edilen bentonitin mısırın kuru madde miktarı ile N kapsamı üzerine etkisini incelemiştir. Araştırmada 3 farklı (0, 100, 200 ppm) dozlarda bentonit ve 4 ayrı dozda (0, 50, 100, 200 ppm) amonyum nitrat ve amonyum sülfat gübreleri uygulamıştır. Bentonit ve azotlu gübrelerin (amonyum nitrat ve amonyum sülfat) 100 ppm uygulandığı dozda mısırın gelişimine olumlu etki ettiğini belirtmişlerdir. Bentonitin amonyum nitrat ile birlikte uygulamalarında ise artan dozlara bağlı olarak mısır bitkisinin total azot oranında düşüş olmasına karşın bentonitin amonyum sülfat ile birlikte artan dozlarda uygulamalarında mısırdaki azot oranında artan dozlara bağlı olarak düzenli artış olduğunu saptamışlardır.

Yaraş ve Daşgan (2012) tarafından sera koşullarında domates yetiştiriciliğinde kullanılan alkali (pH=8.2) toprağın pH'sını düşürmek için 15 kg/da mikronize-bentonitli kükürt ve 200 kg/da leonardit olarak kullanmışlardır. Bu araştırmanın sonucunda toprağına uygulanan mikronize-bentonitli-kükürtün 0.51 birim ve leonarditin ise 0.45 birim pH düşürdüğünü açıklamışlardır.

Czaban ve Siebielec (2013) tarafından arazi koşullarında 0.8 m<sup>2</sup>'lik parseller oluşturularak asidik kumlu toprakta artan dozlarda (0, 3, 6 ve 12 kg/m<sup>2</sup>) bentonit uygulaması yapmıştır. Söz konusu parsellere 30 yıl boyunca farklı bitkiler ekilerek yetiştirilmiş ve yetiştirme döneminde mineral ve organik gübreler uygulanmıştır. 5-80 cm'lik toprak profili incelendiğinde kontrole göre pH'nın yükseldiğı ve yarayışlı Mg kapsamının arttığını açıklamıştır. Yapılan bu araştırmada 5-30 cm derinlikteki toprakta en yüksek doz 12 kg/m<sup>2</sup> bentonit uygulaması sonucunda Ca, Mg, Zn ve Mn yarayışlılığını ve katyon değişim kapasitesinin arttığını tespit etmişlerdir.

Dünder ve ark., (2017) tarafından sera koşullarında organik domates yetiştiriciliğinde domates meyvesinin muhafazası ve kalite özellikleri üzerine olan etkileri belirlemek için toprağa 4 farklı kükürt dozu ve %10 bentonit uygulaması yapılmıştır. Söz konusu araştırmada, 28 gün muhafaza sonunda Mikronize-bentonitli-kükürt (%90 Kükürt + %10 Bentonit) uygulamasının domateslerde kaliteyi daha iyi koruduğunu saptamıştır.

Semalulu ve ark., (2017) Doğu Uganda'daki kumlu topraklarda 2.5 t ha<sup>-1</sup> Ca-bentonit uygulamasının tahıl ve baklagil bitkisinin verimi üzerine olan etkisi araştırmıştır. Söz konusu araştırmada kontrole göre kıyaslandığında mısır, darı, sorgum, Mauritius bitkisi ve yerfıstığının veriminde sırasıyla % 11, %20, %14, %17 ve %5 üzerinde artırdığını açıklamıştır.

Mi ve ark., (2017) Kuzey Çinde 2011-2015 yılları arasında kumlu tınlı bir toprakta mısır verimi üzerine yapılan çalışmada gübreye (DAP+Üre) birlikte artan dozlarda bentonit (0, 6, 12, 18, 24, 30 mg ha<sup>-1</sup>) toprağa uygulanarak sadece ilk yıl bentonitin eklenmesiyle toprağın 0-60 cm takabasındaki toprak neminin arttığı ve doymuş hidrolik iletkenliği yükselttiğini belirtmişlerdir. Çalışmanın sonunda 5 yıl sonra toprak üstü biyokütle verimliliğinde ve tahıl verimliliğinde artışlar görmüşlerdir. Bentonit miktarının artmasıyla su kullanım verimliliğinde de iyileştirme sağladığını göstermişlerdir.

Erdil (2019) tarafında serada saksı denemesinde toprak ortamı olan saksılara aktif (%0, %3, % 6 ve %12 AB) bendonit dozlarını uygulayarak Fe ve Zn'nun yararlılığını araştırmıştır. Uygulamalarda AB dozları arttıkça toprak pH'sının azalmasına karşın EC değerlerinde artış meydana getirdiğini açıklamıştır. Ayrıca, %3 AB uygulamasında Zn kapsamının arttığını dozlar arttıkça %6 ve %12 'de azaldığını saptamıştır.

## 2.3 Kadmiyum

### 2.3.1 Kadmiyumun Genel Özellikleri ve Literatür Bilgileri

Kadmiyum ve bileşikleri yüksek derecede toksik olup bitki, hayvan ve insanlar için mutlak gerekli bir element değildir. Kadmiyum yer kabuğunda  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dan az miktarda bulunmaktadır. Yarılanma ömrünün uzun olması nedeniyle düşük dozlarda bile yüksek toksik etkisi vardır. Kadmiyum topraklarda yüksek hareketliliğe sahip olmasından dolayı bitkilere taşınabilmektedir. Buğday gibi temel besin elementlerine taşınıp birikmesi nedeniyle besin zinciri vasıtasıyla insanlara kolaylıkla geçebilmektedir. Özellikle yüksek miktarda Cd biriktirebilen bitkiler, insanlar tarafından tüketilmesiyle zamana bağlı olarak vücutta birikerek çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır.

Yapılan araştırmalarda Cd'nin böbrek, karaciğer, akciğer, yüksek tansiyon, kanser ve kansızlık gibi çok ciddi rahatsızlıklara neden olduğu açıklanmıştır (Kahvecioğlu ve ark., 2003; Asri ve ark., 2007). Bu yönüyle son yıllarda yenilebilir ürünlerdeki Cd'nin azaltılmasına yönelik araştırmalar hızla yapılmaktadır. Kadmiyumun azaltılmasında yeni stratejiler arasında genetik faktörler dikkate alınarak bünyelerinde daha az Cd biriktiren tür ve çeşitlerin elde edilmesi, topraklara organik madde kapsamı yüksek olan çeşitli materyaller uygulanmaktadır. Bu çalışmada da kation değişim kapasitesi (KDK) yüksek olan bentonit kullanılmış olup buğday bitkisindeki etkileri araştırılmıştır. Literatür çalışmalarına bakıldığında bentonitin birçok bitkide denendiği ve yenilebilir bitkisel kökenli ürünlerdeki ağır metal alımını azaltılmasındaki etkisi araştırılmıştır.

Bhattacharyya ve Gupta (2008) bentonit ve asit ile aktive edilmiş bentonitin sulu çözeltideki Cd adsorpsiyonu üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Cd 'nin adsorpsiyonun pH'dan etkilendiği ve adsorbe edilen miktarın, kademeli olarak asitlik azaldıkça arttığını belirlemişlerdir. pH'ın 1'den 10 artmasıyla adsorpsiyon miktarı bentonit için %74.7 den %94.5 ve asitle aktive olan bentonit için %82.5 den %99.3'e yükselmiştir. Asit aktivasyonunun, killerin tabaka kapasitesi üzerinde fazla bir etkisi olmamasına rağmen, genel olarak Cd adsorpsiyonun da bir artış sağladığını ileri sürmüşlerdir.

Sdiri ve ark., (2011) bentonitin, kadmiyumu toprakta etkin bir şekilde hareketsiz hale getirdiği; pH ve su depolama kapasitesi gibi toprak özelliklerine pozitif etkide bulunduğu, geniş yüzey alanı nedeniyle yüksek katyon değişimi kapasitene sahip olduğunu bildirmişlerdir. Düşük maliyeti ile bentonitin geniş bir uygulamaya alanı olduğunu, birçok ağır metalle etkileşime girerek immobilize etmesiyle kirlenmiş toprakta ve sularda uygulanabilirliğiyle tarımda umut veren bir materyal olduğunu belirlemişlerdir.

Uraz (2015) atık sulardaki ağır metallerin uzaklaştırması için laboratuvar koşullarında bentonit uygulamasının Zn adsorpsiyonu üzerine olan etkisini incelemiştir. Denemede, 0.2 g bentonit ile 50 ppm Zn'nin etkileştirilmiş ve sonucunda, %96.80 oranında adsorborsiyonun gerçekleştiğini belirlemiştir.

Kumararaja ve Shabeer (2016) sera koşullarında süs (*Amaranth*) bitkisiyle yaptığı saksı denemesinde bentonit uygulamasının ağır metal alınımını araştırmıştır. Elde edilen bulgularda, saksılara %2.5 bentonit, 250 ppm Zn, 100 ppm Cu ve 100 ppm Ni uygulamalarıyla bitkiler yerleştirilmiş ve iki ayrı hasat yapmıştır. Yapılan değerlendirmede, bitkide metallerin konsantrasyonunu I. ve II. hasat olmak üzere sırasıyla Zn %74-%28, Cu %38-%36 ve Ni için %44-%34 oranında azalttığını saptamıştır. Söz konusu araştırmada, bentonitin kuru madde miktarında da birinci hasatta %76.5 ve ikinci hasatta %41.7 oranında arttığını belirlemişlerdir.

Al-Mamun ve ark., (2016) bentonit, zeolit ve kömür atığı uygulamalarının karşılaştırılmasında ise Cd'nin immobilizasyonun diğerlerinden daha fazla olduğunu saptamıştır. Benzer bir materyal olan biochar uygulamasının ıspanak, marul ve buğdayda Cd alımının azaldığı da belirlenmiştir.

Sun ve ark., (2016) tarafından serada saksı denemesinde Cd 5 mg kg<sup>-1</sup> kirlenme sağlanmış toprağa sepiolit, bentonit ve fosfat uygulamaları yapıldıktan sonra 5 hafta inkübasyona bırakmış ve daha sonra çeltik yetiştirmişler. Araştırmada, Cd immobilizasyonu, fizyolojik parametreler, bitki büyümesi, toprak enzimleri aktivitesi ve Cd alımı üzerine olan etkisi araştırmışlardır. Kontrol, 8 g kg<sup>-1</sup> sepiolite; 24 g kg<sup>-1</sup> bentonit; 5 g kg<sup>-1</sup> fosfor uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yapraklardaki süperoksit dismütaz, peroksidaz aktivitesi ve toprakta katalaz aktivitesi teşvik edildiğini saptamıştır. Topraklarda değişebilir Cd fraksiyonlarının açığa

çıkıldığını ve çoğunlukla karbonat bileşikleri formları oluşturarak bağlandığını tespit etmiştir. Sepiolit, bentonit ve fosfat uygulamalarının çeltiğin sırasıyla kök, gövde, yaprak, pirinç, kapsüldeki Cd konsantrasyonlarının azaltıldığını belirlemişlerdir. Bu araştırmanın sonucunda Cd ile kirlenmiş topraklarda sepiolit, bentonit ve karışımlarının uygulanmasıyla bitkilerin daha düşük miktarda Cd alacağını açıklamışlardır.

Tito ve ark., (2017) bu çalışmada, toprağa uygulanan bentonit ile düşük kaliteli sulardan kadmiyumun turp, mısır ve şeker pancarı bitkileriyle birlikte uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. Denemeler, tesadüfi deneme desenine göre dört tekerrürlü bir serada gerçekleştirilmiştir. Bentonit farklı dozlarda (30; 60 ve 90 t ha<sup>-1</sup>) uygulanarak 0.2 mg L<sup>-1</sup> Cd konsantrasyonlu kalitesiz su ile sulanmıştır. Turp, mısır ve pancar bitkileri sırasıyla 30, 60 ve 90. günlerde hasat edilmiş, düşük kaliteli su ile sulanan toprakta bentonit uygulamasının turp, mısır ve pancar bitkilerinin gelişimi üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahip olduğunu, yani turp, mısır ve pancar köklerinin kuru biyokütlesini %1 olasılıkla etkilediğini göstermiş. Bentonit, kadmiyumun biyobirikim ve translokasyon faktörlerinin azaltılmasını desteklediği sonucuna varmışlardır.

Khan ve ark., (2018) atık sularda bulunan Cd'nin laboratuvar şartlarında uzaklaştırılması için yapılan çalışmada 1 g bentonit kil, pH 5.1'de 50 ml 100 ppm Cd çözeltisi ile karıştırılmıştır. Çalışmada pH, sıcaklık, süre ve karıştırma hızı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 100 ppm Cd'nin 20 ppm'e düşürmüştür. Bentonitin sulu çözeltide Cd'nin uzaklaştırılması için etkili bir şekilde kullanılabileceğini ileri sürülmüştür.

El-Nagar ve Halim (2021) sera koşullarında toprağa bentonit nano-kompoziti 50 kg ha<sup>-1</sup> ve 100 kg ha<sup>-1</sup> dozlarında uygulanarak yer fıstığı yetiştirmişler. Toprakdaki Cu, Ni ve Pb adsorpsiyonlarının değişimlerini incelemişler. Araştırma sonucunda, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında 100 kg ha<sup>-1</sup> bentonit nano-kompozitin uygulamasının Ni'i 0.71'den 0.53'e ve Cu'yu 0.097'dan 0.048'e düşürdüğünü saptamışlardır. Benzer azalmanın Pb'de elde edilemediği de belirlenmiştir. Sonuç olarak, bentonit-nano formlarının kirlenmiş toprakta ağır metalleri hareketsizleştirebileceği, toprak özelliklerini iyileştirebileceği, bitkiler tarafından ağır

metal alımını azaltabileceği ve topraktaki ağır metal için iyi bir immobilizer olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Kocaoba ve ark., (2021) laboratuvar şartlarında kolon cam şişeye bentonit uygulayarak farklı ağır metallerin adsorpsiyonu incelenmiştir. Uygulama dozları olarak 0.2 g bentonit ile 10 ppm metal konsantrasyonunu karıştırmışlardır. Sonuç olarak bentonitin, Cu'nun %70.64 ve Cd'nin ise %73.81 oranında adsorbe edildiğini tespit etmiştir.

Hussain ve Ali (2021) yaptıkları araştırmada, kurşun ve bakır iyonlarını atık sudan uzaklaştırmak için adsorban eleman olarak bentonit kullanmışlardır. 0.2 gr ve 2 gr bentonit ile 10 mg L<sup>-1</sup> Cu ve Pb'nin laboratuvar koşullarında karıştırılarak yapılan çalışmada, Cu için %78.8'den %87.6'ya ve Pb için %80.1'den %89'a yükselmiştir. Çalışmanın sonunda bentonitin sulu ortamda bulunan bakır ve kurşun iyonlarının uzaklaştırılması için uygun bir adsorban olduğu kanatına varılmıştır.

Cheng ve ark., (2021) arıtma çamurunun tarımsal alanda yeniden kullanımı için modifiye bentonit ile ağır metallerin stabilizasyonu üzerine yaptıkları laboratuvar çalışmasında modifiye bentonitten 4 ve 5 g, arıtma çamurundanda 50 g olacak şekilde iki farklı karışım hazırlamışlardır. Sonuçta 4 gr bentonit ile 50 gr arıtma çamuru karışımından elde edilen sonuçlar Cu %90.1 ve Pb %91.2 stabilizasyonu olarak elde edilmiştir. Cd, Cr ve Zn'nin en yüksek stabilizasyon ise 5 gr modifiye bentonit ile 50 g arıtma çamuru karışımından Cd %73.2, Cr %80.3 Zn'nin ve %62.8'i elde edilmiştir. Bu gözlemler, modifiye edilmiş bentonitin kanalizasyon çamurundan ağır metallerin stabilizasyonunda etkili olduğunu göstermiştir. Bu bulgulardan yola çıkarak, modifiye bentonit kullanılarak yapılan yeterli şartlandırma ile arıtma çamurunun tarımda doğrudan gübre olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşmışlardır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Deneme Yeri ve Yılı

2019 yılı bahar döneminde Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama arazisinde, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm serasında kontrollü şartlar altında yürütülmüştür.

##### 3.1.2 Toprak Materyali

Denemede ortam olarak kullanılan toprak, Ordu İli sınırları içinde findık tarımı yapılan arazilerden 0-30 cm'den çiftçi tarlasından alınmıştır. Topraklar kurutularak 4 mm'lik elekten elendikten sonra saksılara ilave edilmiştir. Denemede kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1** Denemede Kullanılan Toprağın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toprak Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	Değerler
Tekstür	Tınlı
pH	4.81
EC, $\mu\text{s}/\text{cm}$	652
Kireç, %	0.8
O.M. %	1.52
N, %	0.14
P, $\text{mg kg}^{-1}$	3.74
K, $\text{mg kg}^{-1}$	222
Ca, $\text{mg kg}^{-1}$	1334
Mg, $\text{mg kg}^{-1}$	166
Fe, $\text{mg kg}^{-1}$	13.5
Cu, $\text{mg kg}^{-1}$	2.48
Zn, $\text{mg kg}^{-1}$	4.44
Mn, $\text{mg kg}^{-1}$	21.26
Cd, $\text{mg kg}^{-1}$	0.51

### 3.1.3 Bitki Materyali

Denemede, Ekmeklik (Bayraktar) ve Makarnalık (Mirzabey) buğday çeşitleri kullanılmıştır.

### 3.1.4 Bentonit Materyali

Denemede kullanılan bentonit Bentaş Bentonit Madencilik'ten tedarik edilmiştir. Kurutulmuş ve 2 mm elekten geçirilmiştir. Bentonitin iki türü kullanılmıştır.

**1- Aktivesiz bentonit:** Hiç bir katkı maddesi kullanılmamış doğada çıktığı şekliyle kurutulup (max:%10 nemde) 2 mm elekten geçecek şekilde hazırlanmıştır.

**2-Aktiveli bentonit:** %3 soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -Sodyum Karbonat) ile aktive edilmiş kurutulup (max: %10 nemde) 2mm elekten geçecek boyutta hazırlanmıştır.

**Çizelge 3.2** Denemede Kullanılan Aktivesiz ve Aktiveli Bentonitin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bentonit Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	Aktivesiz Bentonit	Aktiveli Bentonit
$\text{SiO}_2$ , %	65.61	68.1
$\text{Al}_2\text{O}_3$ , %	14.17	16.5
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %	1.22	1.1
$\text{TiO}_2$ , %	0.12	0.14
CaO, %	3.11	1.9
MgO, %	2.07	3.2
$\text{Na}_2\text{O}$ , %	0.99	1.5
$\text{K}_2\text{O}$ , %	1.5	1.1
Kızdırma Kaybı	4.7	6.5
Kanyon Değişirme Kapasitesi ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	85	96.2
Şişme ( $2 \text{ gr ml}^{-1}$ )	9	25
pH	7-9	10-12
EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$	180	370
Kireç, %	0.8	0.3

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 Toprak Örneklerine Yapılan Analizler

**a) Toprak tekstürü:** Toprak örneklerinin % kum, silt ve kil miktarları hidrometre yöntemi ile belirlenmiş ve tekstür üçgeninden yararlanılarak toprakların tekstür sınıfları saptanmıştır (Bouyoucos, 1951).

**b) Toprak reaksiyonu:** Analize hazır hale getirilen toprak örneklerinin pH' ları, 1:2.5 oranında toprak:su karışımının da Grewelling ve Peech (1960) tarafından bildirildiği şekilde cam elektrodlu pH-metre ile belirlenmiştir.



c) **EC analizi:** Richards (1958) tarafından bildirildiği şekilde toplam tuz 1:2.5 toprak su oranı süspansiyonunda EC metre ile ölçülmüştür.

d) **Kireç konsantrasyonu:** Çağlar (1949) tarafından bildirildiği şekilde Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir.

e) **Organik madde:** Jackson (1962) tarafından bildirildiği şekilde modifiye edilmiş Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre belirlenmiştir.

f) **Toplam N:** Kjeldal yaş yakma yöntemi ile belirlenmiştir (Bremmer, 1965).

g) **Bitkiye yararlı P:** Toprakta P analizleri Bray ve Kurtz (1945) tarafından geliştirilen yöntemlere göre yapılmıştır.

h) **Ekstrakte edilebilir K, Ca ve Mg:** Pratt, (1965) şekilde toprak örnekleri nötr 1N 15 amonyum asetat ile ekstrakte edilerek AAS'de okunmasıyla belirlenmiştir.

i) **Ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn, Mn:** Kacar, (2009) tarafından bildirildiği şekilde DTPA ile ekstrakte edilen toprak örneklerinde Fe, Cu, Zn, Mn, AAS ile belirlenmiştir.

i) **Ekstrakte edilebilir Cd:** DTPA'nın (Dietilentriaminpentaasetik asidin) toprakta bulunan  $Cd^{+2}$  ile oluşturduğu çözünebilir kompleksteki kadmiyumun Atomik Absorbsiyon Spektrofotometrede (AAS) belirlenmesidir (Lindsay ve Norvell, 1978).

### 3.2.2 Saksı Denemesinin Yürütülmesi

Denemede her saksıya hava kurusu 4 mm'lik elekten geçmiş 1.7 kg toprak doldurulmuştur. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede, Ekmeklik (Bayraktar) ve Makarnalık (Mirzabey) buğday çeşitleri kullanılmıştır. Buğday tohumlarının ekiminden önce, temel gübreleme olarak her saksıya  $200 \text{ mg N kg}^{-1}$  Kalsiyum Nitrat ( $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ),  $100 \text{ mg P kg}^{-1}$  ve  $125 \text{ mg K kg}^{-1}$  Potasyum di hidrojen fosfat ( $KH_2PO_4$ ) formlarından uygulanmıştır. Temel gübrelemeye ilaveten Cd'nin 0, 5 ve  $10 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  toprak dozları ile aktivesiz ve aktiveli bentonitin %0, %3, %6 ve %12 dozları topraklara karıştırılmıştır. Bu işlemde sonra her saksıya 15 tohum ekilmiş ve bir hafta sonra 8 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Cd ve bentonit uygulamalarına bağlı olarak bitkilerin büyüme farklılıkları olduğu dönemde yaklaşık 7 (45 gün) hafta sonra toprak yüzeyinin 1 cm üzerinden, tüm bitkileri eşit seviyede kesilerek hasat edilmiştir. Saf su ile yıkanan bitki örnekleri  $65^\circ\text{C}$ ' de 48 saat etüvde kurutma işlemi yapıldıktan sonra, bitkilerin kuru

ağırlıkları alınıp, öğütme değirmeninde bitki öğütölüp analizlere hazır hale getirilmiştir.

### **3.2.3 Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler**

Toplam mineral besin elementlerini (P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B ve Cd) belirlemek amacıyla yeşil aksam bitki örneklerinden 0.2 g tartılmış ve mikrodalga tüplerine konulmuştur. Yaş yakma yöntemine göre, üzerine 2 ml saf su, 2 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (% 30'luk) ve 4 ml HNO<sub>3</sub> (%65'lik) içeren karışımla yakılmıştır (CEM MARS, microwave Acceleration Reaction System). Yakılan örnekler oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Daha sonra saf su ilave edilerek son hacmi 20 ml'ye tamamlanıp mavi bant filtre kağıdından süzölmüştür. Ölçümler, ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emmission Spectrometer; Varian ICP-OES Vista Pro) ile belirlenmiştir. Okuma değerlerinin doğruluğunu teyit etmek için referans materyal kullanılmıştır. Kullanılan referans; (Peach leaves, 1547) olup standart değerlerin karşılaştırılması sonucunda okuma hata oranlarının %2'e yakın ve altında olduğu saptanmıştır.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1 Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi (mg bitki<sup>-1</sup>)

Araştırmada yetiştirilen, ekmeklik ve makarnalık buğday bitkisine 3 farklı dozda Cd (0, 5, 10 mg kg<sup>-1</sup>) ve 4 farklı (%0, %3, %6, %12) artan dozlarda aktivesiz ve aktivesiz bentonitin uygulamaları sonucunda, ekmeklik ve makarnalık buğdayda ortalama yeşil aksam kuru madde ağırlıklarında farklılıkların olduğu bulunmuş olup; sonuçlar çizelge 4.1’de verilmiştir. Artan dozlarda Cd ve bentonit uygulamaları sonucunda yeşil aksam kuru madde miktarlarında istatistiki olarak P<0.05 düzeyinde önemli farkların olduğu belirlenmiştir. Bitki kuru madde veriminde ekmeklik buğday bitkisinde Cd0, Cd5 ve Cd10 dozlarında aktivesiz bentonit uygulamaları sonucunda kontrol grubuna kıyasla en fazla artış Cd’nin her 3 uygulamasında da %12 aktivesiz bentonitte elde edilmiştir. Yeşil aksam kuru madde miktarında Cd0’da %65’lik bir artış olurken Cd5’de %63 ve Cd10’da ise %92’lik bir artış meydana gelmiştir. Artan Cd doz ve artan aktivesiz bentonit uygulamalarında da kuru madde veriminin artışında benzer sonuçların olduğu saptanmıştır. Buna göre, en fazla kuru madde verim artışı Cd’nin bütün dozlarında %12 bentonit uygulamasında elde edilmiş olup Cd0+%12 aktivesiz bentonit de %118, Cd5+%12 aktivesiz bentonitte %55 ve Cd10+%12 aktivesiz bentonitte ise %120 oranında kuru madde artışı olduğu bulunmuştur. Aktivesiz ve aktivesiz bentonitin artan dozlarda uygulamaları sonucunda makarnalık buğdayın kuru madde veriminde kontrole göre artışlar meydana gelmiştir. Aktivesiz bentonitin kontrol (Cd0+%0 bentonit) uygulamasında makarnalık buğdayda kuru madde miktarı 230 mg bitki<sup>-1</sup> iken bentonitin %6 ve %12 doz uygulamalarında kuru madde verimi de doz artışına paralel olarak kuru madde artarak en yüksek kuru madde verimi de %12 aktivesiz bentonit uygulamasında elde edilmiş olup %94 oranında artış sağladığı saptanmıştır. Aktivesiz bentonit uygulamasının kuru madde verimi üzerine olan etkisinde daha çarpıcı sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Örneğin, makarnalık buğdayda Cd0+%0 bentonit (kontrol) grubunda 188 mg bitki<sup>-1</sup> iken %12 bentonit uygulamasında 999 mg bitki<sup>-1</sup> üretimi ile %431’lik artış olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.1). Bentonit uygulamalarının bitkilerin verimi üzerine olan pozitif etkileri çeşitli araştırmalarda ortaya konmuştur. Araştırmamızda elde edilen bulguları destekleyen bir çalışmada Kumararaja (2016) tarafından açıklanmıştır. Söz konusu araştırmada, sera saksı denemesiyle %2.5 bentonit uygulaması sonucunda, süs (Amaranth) bitkisinin kuru

madde verimini birinci hasatta %76.5 ve ikinci hasatta %41.7 oranında arttığını tespit etmiştir. Semalulu ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada kumlu topraklarda hektara 2.05 ton Ca-bentonit kullanarak mısır, darı, sorgum, mauritius bitkisi ve yer fıstığının verimlerinde kontrole göre %11, %20, %14, %17 ve %5 oranında artışların meydana geldiğini belirlemişlerdir.

El-Nagar ve ark., (2021) Bentonit ve nano bentonit uygulamasıyla kumlu toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisinin değerlendirildiği araştırmada, bentonit 5 ton ha<sup>-1</sup>, 10 ton ha<sup>-1</sup> ve nano bentonit 250 kg ha<sup>-1</sup>, 500 kg ha<sup>-1</sup> uygulayarak tarla ve saksı denemeleri yapmışlardır. Söz konusu araştırma sonuçlarında, 500 kg ha<sup>-1</sup> uygulamasının tüm uygulamalara kıyasla buğdayın verimini önemli lde artırdığını açıklamıştır.

**Çizelge 4.1** Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kuru Madde Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (ÇeşitxBent)	
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	520i-o	529i-n	472l-q	507G	
		%3	696e-j	735d-h	577h-m	670DF	
		%6	750d-h	760c-h	634g-l	715CE	
		%12	862b-e	814b-g	906a-d	861AB	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>707AB</b>	<b>710AB</b>	<b>648B</b>	<b>688A</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	485k-p	526i-n	430m-s	481G	
		%3	700e-j	669f-k	516j-o	628EF	
		%6	845b-f	700e-j	672e-k	739CD	
		%12	1060a	815b-g	946a-c	940A	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>773A</b>	<b>678AB</b>	<b>641B</b>	<b>697A</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>740A</b>	<b>694AB</b>	<b>644B</b>	<b>692A</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	230tu	195u	206tu	211I	
		%3	262r-u	247s-u	306p-u	255HI	
		%6	345n-u	271r-u	288q-u	302HI	
		%12	447l-r	267r-u	271r-u	329H	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>309E</b>	<b>245E</b>	<b>268E</b>	<b>274C</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	188u	329o-u	280r-u	266HI	
		%3	238tu	362n-u	394m-t	332H	
		%6	710e-1	453l-r	529i-n	564FG	
		%12	999ab	526i-n	926a-d	817BC	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>534C</b>	<b>418D</b>	<b>533C</b>	<b>495B</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>421C</b>	<b>332D</b>	<b>400C</b>	<b>384B</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0		375h-1	362h1	3391	359D	
	%3		454f-1	492d-h	442f-1	462C	
	%6		548c-g	516d-g	461e-1	508C	
	%12		655bc	541c-g	589c-e	595B	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>508CD</b>	<b>478D</b>	<b>458D</b>	<b>481B</b>	
Aktiveli Bentonit	%0		3371	428g-1	3551	373D	
	%3		469d-1	516d-g	455e-1	480C	
	%6		778b	577c-f	601cd	652B	
	%12		1030a	671bc	936a	879A	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>654A</b>	<b>548BC</b>	<b>587AB</b>	<b>596A</b>	
<b>Ortalama Cd</b>			<b>581A</b>	<b>513B</b>	<b>522B</b>		

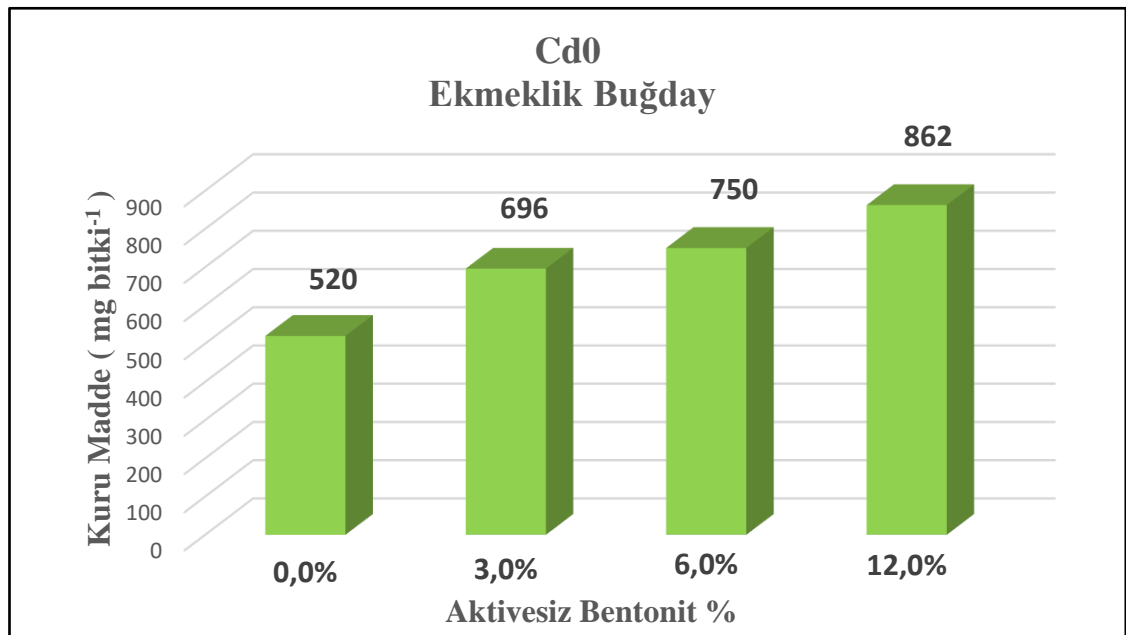
F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd\*\*, ÇeşitxBentonit\*\*\*, ÇeşitxCd<sup>ÖD</sup>, BentonitxCd\*\*, ÇeşitxBentonitxCd\*\*  
LSDÇeşit:38.972, LSDBentonit:77.944, LSDCd:47.731, LSDÇeşit\*Bentonit:110.229, LSDÇeşit\*Cd:67.501, LSDBentonit\*Cd: 135.003

\*\*\* \*\* istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde önemli, ÖD: İstatistiksel olarak önemli değil.

Ekmeklik buğdaya aktivesiz bentonit uygulamasının Cd0 da ki kuru madde miktarına etkisinin gösterildiği Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de, %0 bentonit uygulamasında kuru madde miktarı 520 mg bitki<sup>-1</sup> iken artan bentonit uygulamasıyla kuru madde veriminde artışlar meydana gelmiştir. En fazla artış %12 bentonit uygulamasında, kontrole göre %65 artarak 862 mg bitki<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.



**Şekil 4.1** Cd0 ve Aktivesiz %0, %3, %6, %12 Bentonitin Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı

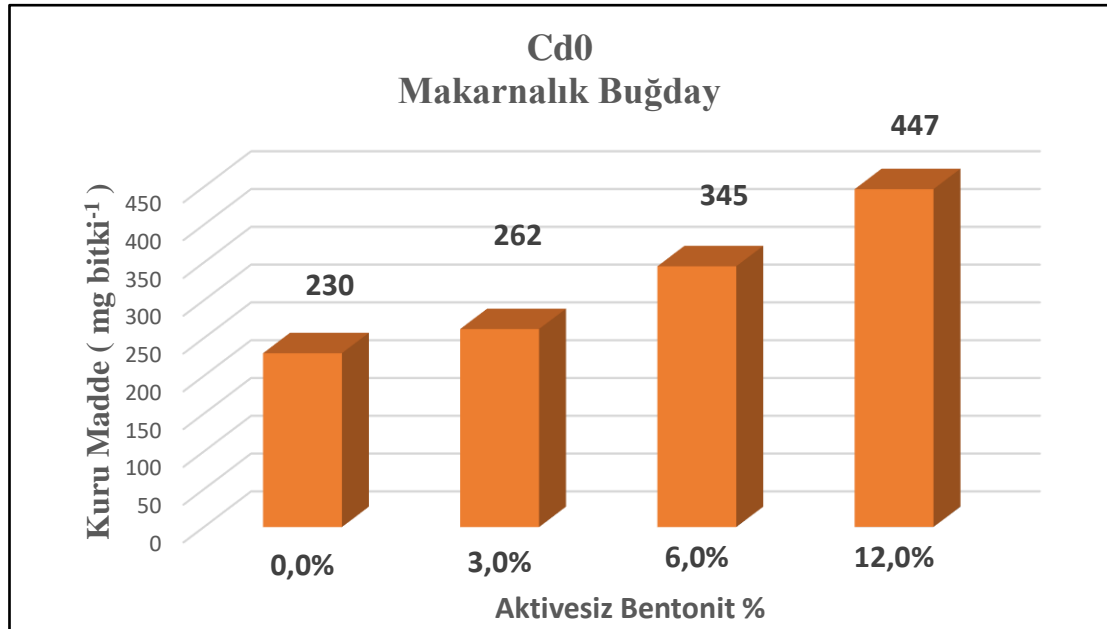


**Şekil 4.2** Cd0 ve Aktivesiz Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)

Makarnalık buğday, aktivesiz bentonit uygulamasının Cd0 da ki kuru madde miktarına etkisinin gösterildiği Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 de %0 bentonit uygulamasında kuru madde miktarı 230 mg bitki<sup>-1</sup> iken %12 bentonit uygulaması ile kuru madde miktarında, %94'lük bir artışın meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 4.3 Cd0 Dozunda Aktivesiz Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Verimi

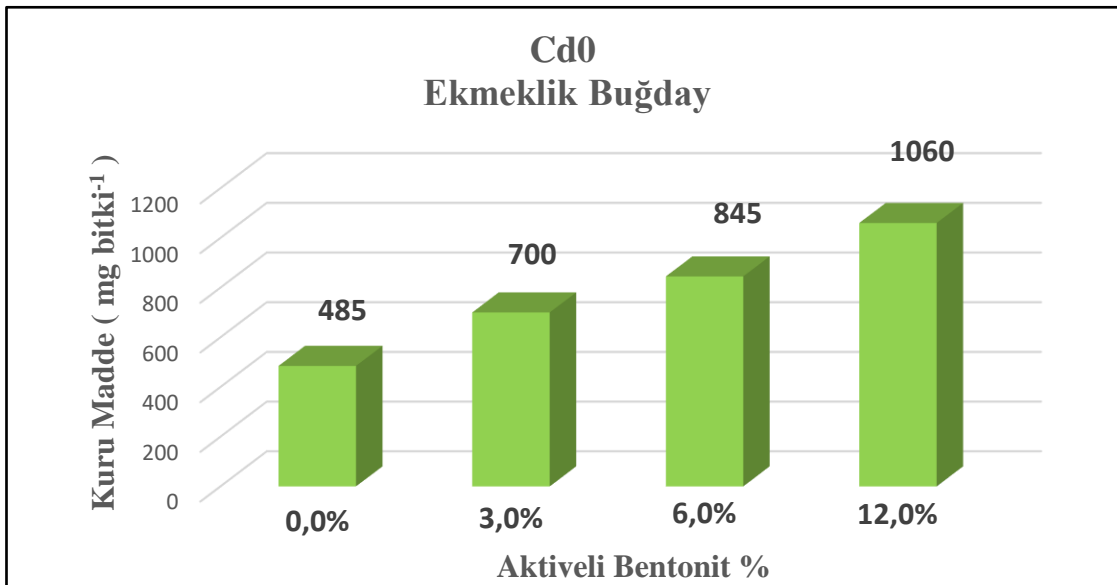


Şekil 4.4 Cd0 ve Aktivesiz Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)

Ekmeklik buğdayda, aktiveli bentonit uygulamasının Cd0 da ki kuru madde miktarına etkisinin gösterildiği Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 da, %0 bentonit uygulamasında kuru madde miktarı 485 mg bitki<sup>-1</sup> iken %12 bentonit uygulaması ile kuru madde miktarı 1060 mg bitki<sup>-1</sup> olarak saptanmıştır. Bu fark ekmeklik buğdayın kuru madde miktarında %118 oranında bir artış olarak belirlenmiştir.



**Şekil 4.5** Cd0 ve Aktiveli %0, %3, %6, %12 Bentonitin Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Verimi



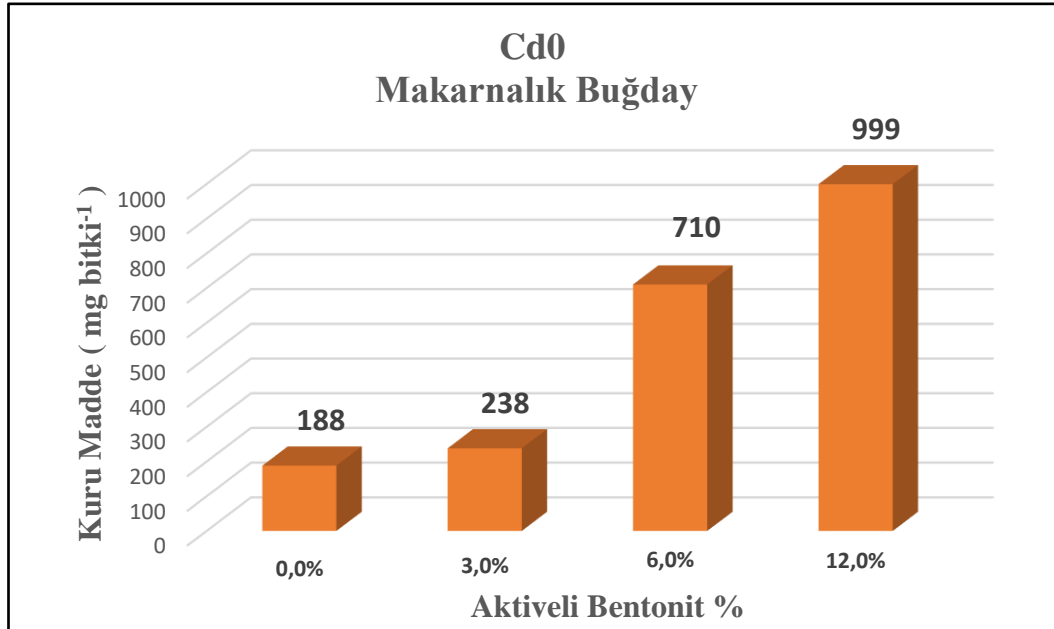
**Şekil 4.6** Cd0 ve Aktiveli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)



Ekmeçlik buğdaya aktıveli bentonit uygulamasının Cd0 da ki kuru madde miktarına etkisinin gösterildiği Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 de, %0 bentonit uygulamasında kuru madde miktarı 188 mg bitki<sup>-1</sup> iken %12 aktıveli bentonit uygulaması ile kuru madde miktarı 999 mg bitki<sup>-1</sup> olarak artmıştır. Bu fark makarnalık buğdayın kuru madde miktarında %431 oranında bir artış olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Cd0 ve Aktıveli %0, %3, %6, %12 Bentonit Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Verimi

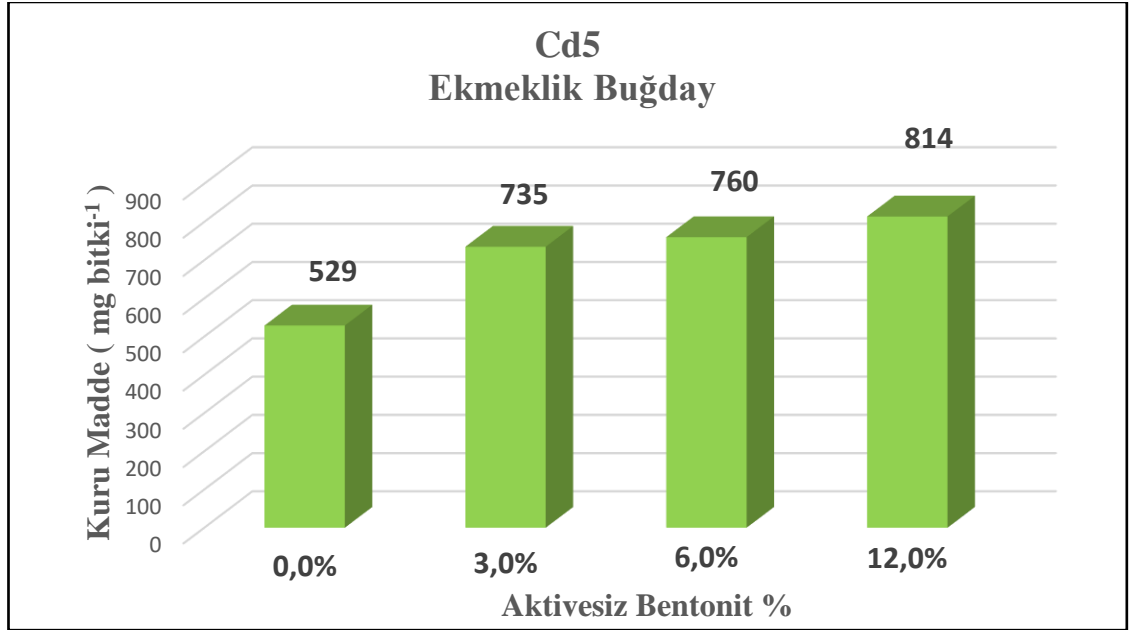


Şekil 4.8 Cd0 ve Aktıveli Bentonit %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)

Ekmeklik buğdayın Cd5 dozunda aktivesiz bentonitin artan dozları ile kuru madde miktarına etkisinin gösterildiği Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 da, %0 bentonit uygulamasıyla %12 bentonit uygulaması arasında 1.5 kat fark olduğu belirlenmiştir. Artan kadmiyum ile birlikte kuru madde miktarının artışı düşmüştür. Aktivesiz bentonitin ekmeklik buğdayda kuru madde artışı, Cd0 da %65 iken ve Cd5 de %53 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.9 Cd5 ve Aktivesiz %0, %3, %6, %12 Bentonitin Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Verimi

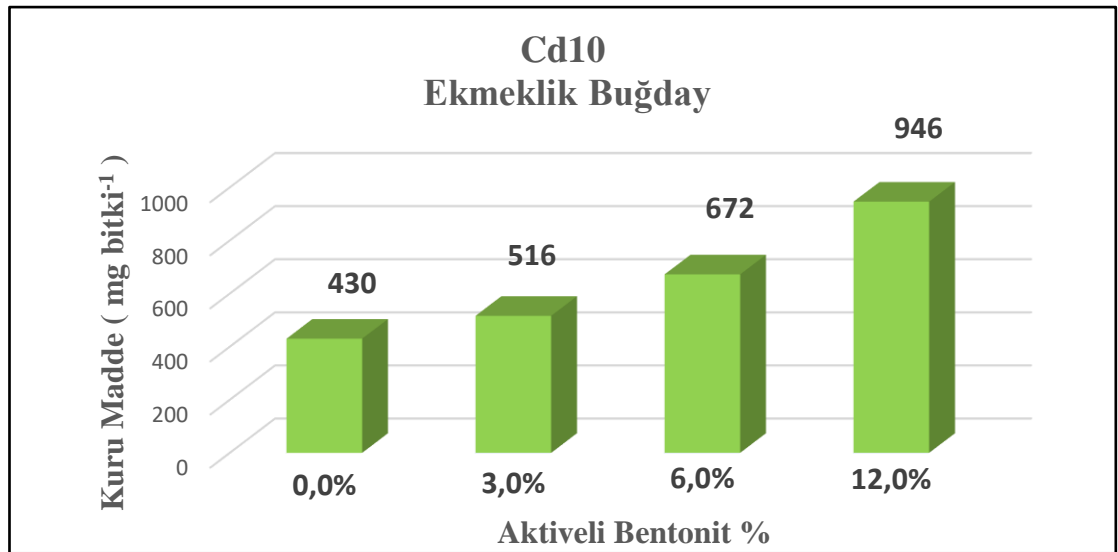


Şekil 4.10 Cd5 ve Aktivesiz Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)

Ekmeklik buğdayda Cd10 dozunda aktifli bentonitin artan miktarı ile kuru madde miktarına etkisinin gösterildiği Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 da, %0 bentonit uygulamasıyla %12 bentonit uygulaması arasında 2.2 kat fark olduğu belirlenmiştir. Artan kadmiyuma karşın kuru madde miktarı bentonitle artmaya devam etmiştir. Aktivesiz ve aktifli bentonitin ekmeklik buğdayda tüm dozları kıyaslandığında en yüksek kuru madde artışı, Cd10 da %120 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.11 Cd10 Dozunda Aktifli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Verimi

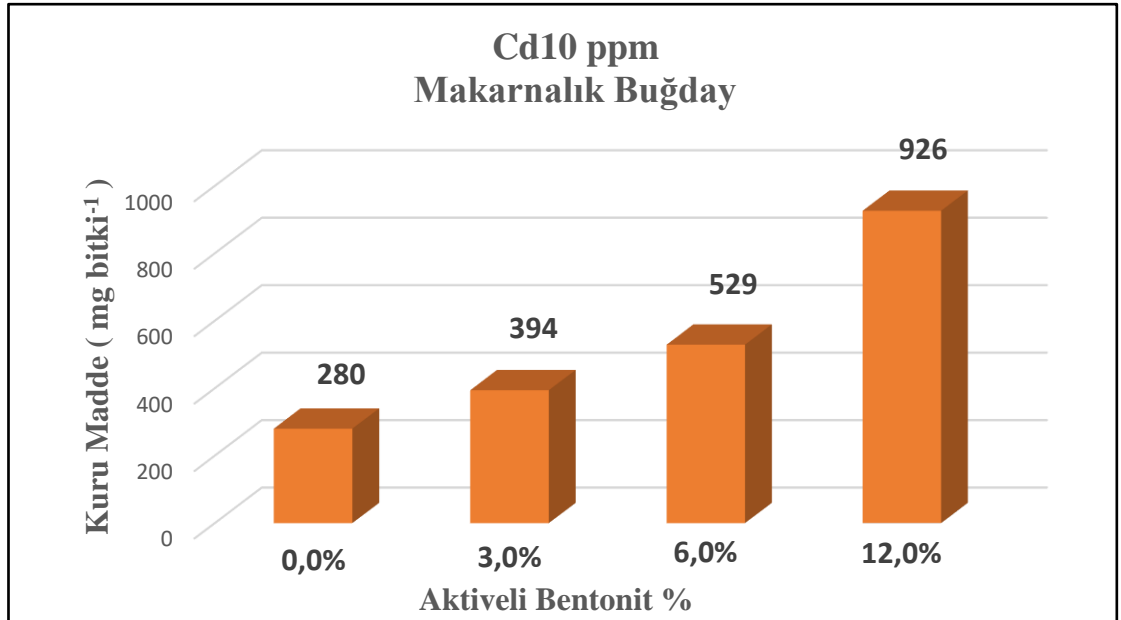


Şekil 4.12 Cd10 ve Aktifli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)

Makarnalık buğdayda Cd10 dozunda aktifli bentonitin artan miktarı ile kuru madde miktarına etkisinin gösterildiği Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 da, %0 bentonit uygulamasıyla %12 bentonit uygulaması arasında 3.3 kat fark olduğu belirlenmiştir. Cd0 da bu artış 5.3 kat olarak saptanmıştır.

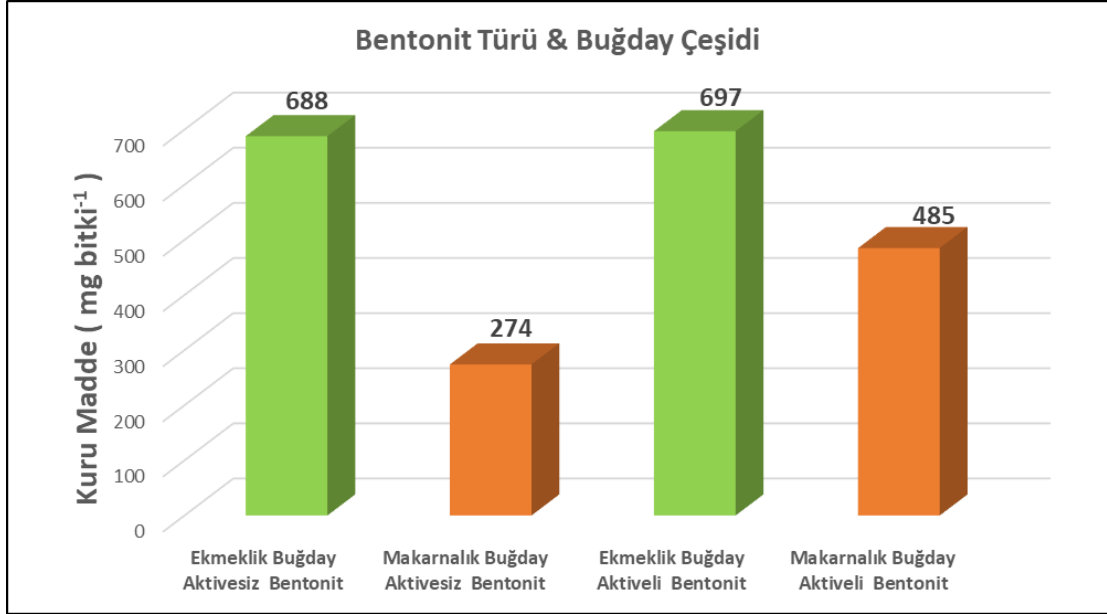


Şekil 4.13 Cd10 Dozunda Aktifli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Verimi



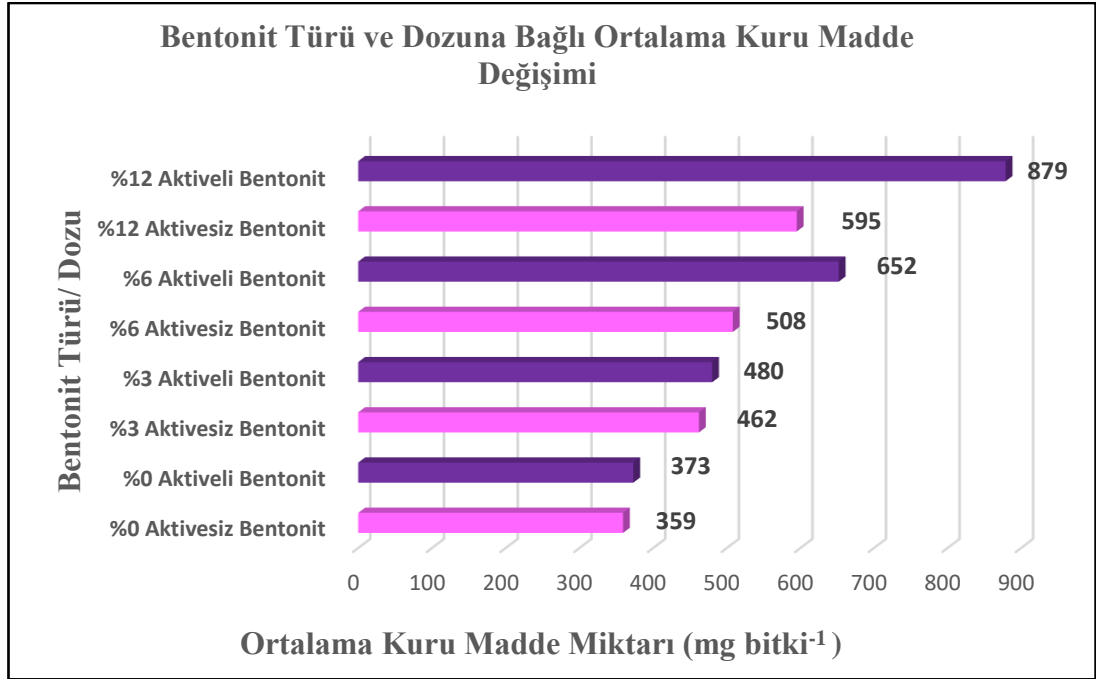
Şekil 4.14 Cd10 ve Aktifli Bentonitin %0, %3, %6, %12 Uygulamasıyla Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)

Ekmeklik ve makarnalık buğdayın ortalama kuru madde verimleri karşılaştırıldığında, aktivesiz bentonit uygulamasında 2.5 kat fark olduğu, aktiveli bentonit uygulamasında ise 1.4 kat oranında bir fark olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.15). Her iki bentonit türünde de çalışmanın ortalama kuru madde miktarları karşılaştırıldığında ekmeklik buğdayın kuru madde miktarının makarnalık buğdaya göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4.15** Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın Aktivesiz ve Aktiveli Bentonit Uygulamalarında Ortalama Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)

Bentonit türlerinin karşılaştırıldığı şekil 4.16 da aktivesiz ve aktiveli bentonitin aynı dozlarında kuru madde değişimlerini incelediğimizde bentonitin %3 uygulamasında 1.0 kat, %6 uygulamasında 1.2 kat ve %12 uygulamasında 1.5 kat aktiveli bentonitin aktivesiz bentonite göre kuru madde miktarında artış gösterdiği belirlenmiştir.



**Şekil 4.16** Aktivesiz ve Aktiveli Bentonit Dozlarının Artan Oranlarda Uygulamalarının Ortalama Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki<sup>-1</sup>)

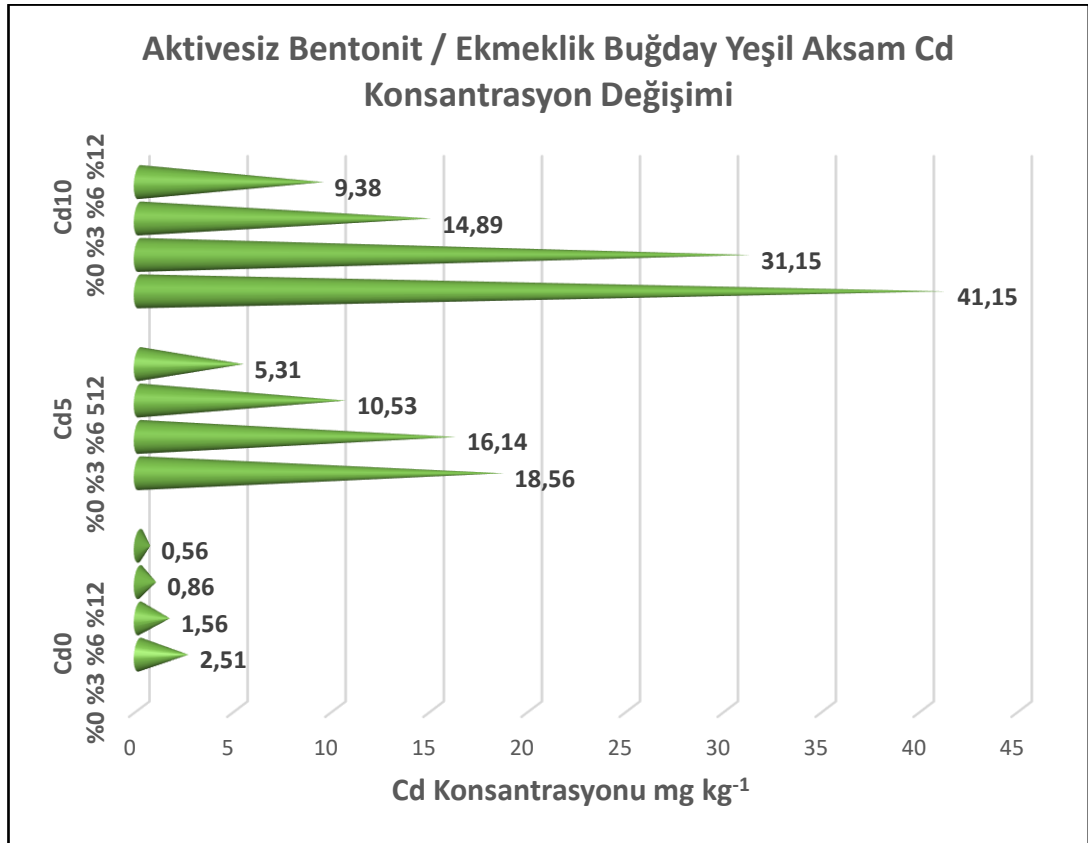
Ortalama kuru madde miktarındaki değişimler her iki çeşit buğdayda da aktiveli bentonitte daha yüksek çıkmıştır. En yüksek fark %0 aktiveli bentonitte 373 mg bitki<sup>-1</sup> olan ortalama kuru madde miktarı, %12 aktiveli bentonitte 879 mg bitki<sup>-1</sup> olarak belirlenmiş ve 2.4 kat artış olmuştur.

Kalınbacak ve ark., (2012) sera koşullarında bitkilerde Cd etkilerinin araştırıldığı bir çalışma yapılar ve bu amaçla toprağa artan dozlarda ekim öncesi 0, 5, 15, 30 ve 45 mg kg<sup>-1</sup> Cd uygulanmıştır. Toprağa uygulanan Cd (doz) oranlarının buğday bitkisinde toksik etkisi olduğunu ve buğdayın kuru madde ağırlığının önemli ölçüde düştüğü belirlenmiştir.

#### 4.2 Yeşil Aksam Kadmiyum Konsantrasyonu (mg kg<sup>-1</sup>)

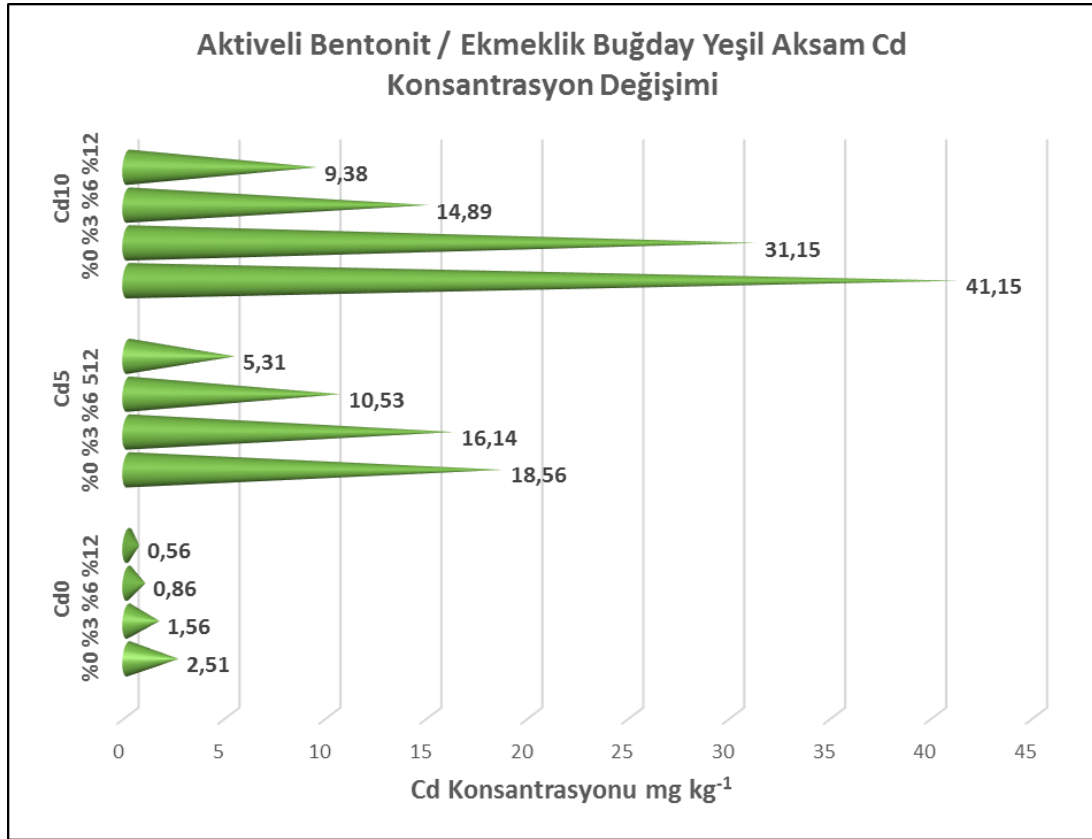
Üç farklı Cd (0, 5, 10 mg kg<sup>-1</sup>) ve iki farklı bentonitin (aktivesiz ve aktivesiz) artan dozlarda uygulamasının (%0, %3, %6, %12) ekmeklik ve makarnalık buğdayın yeşil aksam Cd konsantrasyonu üzerine olan etkileri çizelge 4.2 de verilmiştir. Cd'nin (0, 5, 10 mg kg<sup>-1</sup>) her 3 dozunda da artan bentonit uygulamalarıyla ekmeklik ve makarnalık buğdayın Cd konsantrasyonları arasında istatistiki olarak p<0.05 düzeyinde önemli farkların olduğu belirlenmiştir. Artan dozlarda uygulanan aktivesiz ve aktivesiz bentonitin bitkinin Cd konsantrasyonunu önemli oranlarda azalttığı tesbit edilmiştir. Aktivesiz bentonitin aktivesize göre Cd konsantrasyonunu baskılamadaki etkinliğinin daha fazla olduğu saptanmıştır.

Ekmeklik buğdayda, Cd0, Cd5 ve Cd10 uygulamalarında da artan aktivesiz bentonit dozlarında yeşil aksam Cd konsantrasyonlarında %0 bentonit ve %12 bentonit karşılaştırıldığında; Cd0 da 3 kat, Cd5 de 3.4 kat, Cd10 da ise 4.3 kat yeşil aksam kadmiyum konsantrasyonu düşmüştür (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Aktivesiz Bentonit Uygulamalarının Ekmeklik Buğdayın Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

Aktiveli bentonit uygulamasında ekmeklik buğdayın kontrol grubunda yeşil aksam Cd konsantrasyonu  $2.51 \text{ mg kg}^{-1}$  iken %12 bentonit uygulamasıyla yaklaşık 5 kat azalarak  $0.56 \text{ mg kg}^{-1}$  düzeyine düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.18). Cd0 da olduğu gibi benzer sonuçlar Cd5 ve Cd10 uygulamalarında da artan aktiveli bentonit dozlarında yeşil aksam Cd konsantrasyonlarında düşüşlerin olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.18). Cd5 de aktiveli bentonit kontrol grubuna göre Cd konsantrasyonu  $18.56 \text{ mg kg}^{-1}$  iken %12 bentonit uygulamasıyla yaklaşık 3.4 kat azalarak  $5.31 \text{ mg kg}^{-1}$  düzeyine düşmüştür. Cd10 dozunda yine aktiveli bentonitte kontrol grubuna göre Cd konsantrasyonu  $41.15 \text{ mg kg}^{-1}$  iken %12 aktiveli bentonit uygulamasıyla yaklaşık 4.4 kat azalarak  $9.38 \text{ mg kg}^{-1}$  düzeyine düşmüştür.



**Şekil 4.18** Aktiveli Bentonit Uygulamalarının Ekmeklik Buğdayın Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ )



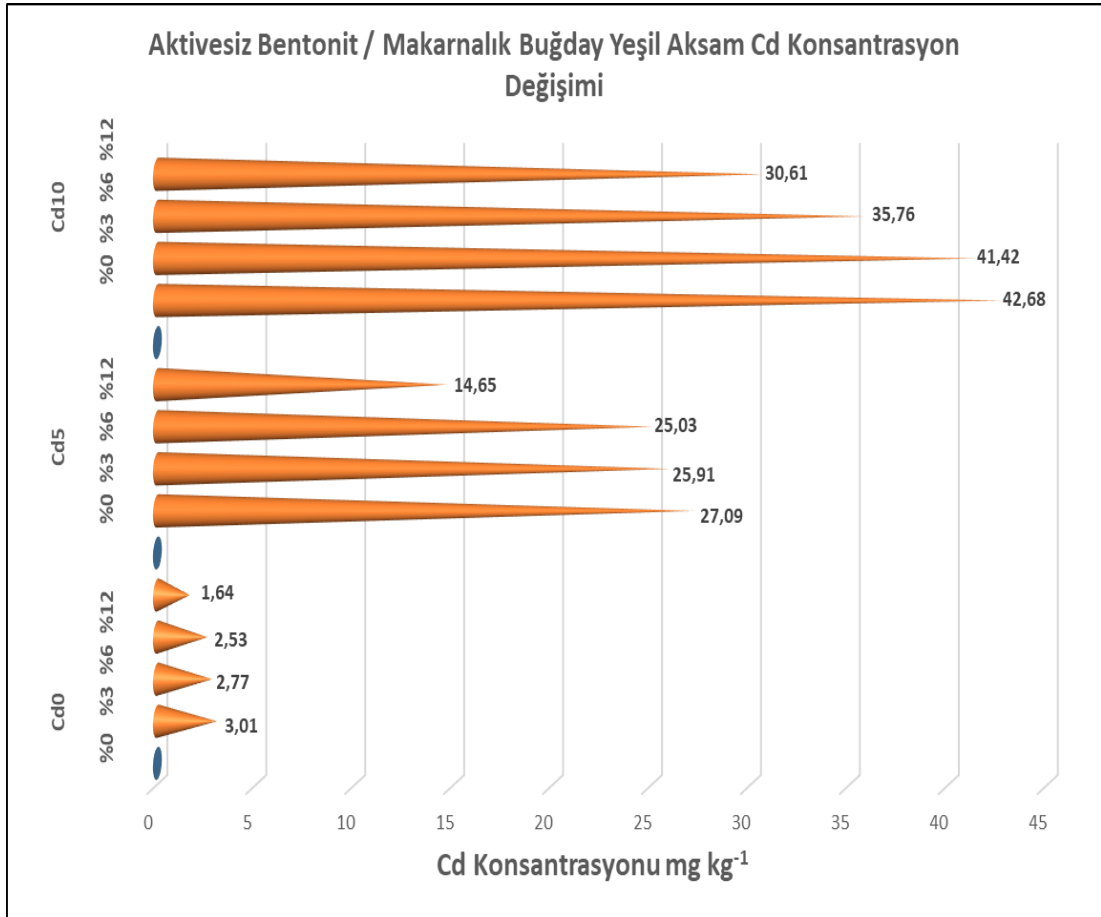
**Çizelge 4.2** Artan Dozlarda B entonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bentonit)	
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	6.09n	23.38fg	32.13c	20.53C	
		%3	4.03n-q	17.10ij	30.36c	17.6D	
		%6	3.09o-r	15.74i-k	29.22cd	16.02D	
		%12	2.14q-r	10.58lm	21.13gh	11.28E	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>3.84G</b>	<b>16.70E</b>	<b>28.21B</b>	<b>22.64A</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	2.51p-r	18.56hı	41.15a	20.74C	
		%3	1.56q-r	16.14ij	31.15c	16.28D	
		%6	0.86r	10.53lm	14.89jk	8.76F	
		%12	0.56r	5.31n-p	9.38m	5.07G	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>1.37H</b>	<b>12.63F</b>	<b>24.13C</b>	<b>19.93B</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>2.60E</b>	<b>14.66D</b>	<b>26.17B</b>	<b>14.48B</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	3.01p-r	27.09de	42.68a	24.26AB	
		%3	2.77p-r	25.91ef	41.42a	23.37AB	
		%6	2.53p-r	25.03ef	35.76b	21.10C	
		%12	1.64q-r	14.65ij	30.61c	16.63D	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>2.48GH</b>	<b>23.92C</b>	<b>37.62A</b>	<b>14.53C</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	3.47n-r	29.46cd	42.14a	25.02A	
		%3	2.22q-r	26.19ef	40.30a	22.90B	
		%6	1.58q-r	13.05kl	22.03g	12.24E	
		%12	0.76r	5.94no	9.16m	5.29G	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>2.01H</b>	<b>18.66D</b>	<b>28.23B</b>	<b>9.57D</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>2.25E</b>	<b>21.29C</b>	<b>33.02A</b>	<b>18.85A</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0		4.51jk	25.23d	37.41b	22.39A	
	%3		3.40kl	21.50e	35.89b	20.26B	
	%6		2.81k-m	20.38ef	32.49c	18.56C	
	%12		1.89l-n	14.12g	25.87d	13.96D	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>3.16E</b>	<b>20.31C</b>	<b>32.92A</b>	<b>18.79A</b>	
Aktiveli Bentonit	%0		2.99k-m	24.01d	41.65a	22.88A	
	%3		1.89l-n	21.17e	35.73b	19.59BC	
	%6		1.22 m-n	11.79h	18.48f	10.50E	
	%12		0.66n	5.62j	9.25ı	5.18F	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>1.69F</b>	<b>15.65D</b>	<b>26.28B</b>	<b>14.54B</b>	
<b>Ortalama Cd</b>			<b>2.42C</b>	<b>17.98B</b>	<b>29.59A</b>		

F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd\*\*\*, ÇeşitxBentonit\*\*\*, ÇeşitxCd\*\*\*, BentonitxCd\*\*\*, ÇeşitxBentonitxCd\*\*\*  
LSDÇeşit:0.601, LSDBentonit:1.201, LSDCd:0.735, LSDÇeşit\*Bentonit:1.698, LSDÇeşit\*Cd:1.039, LSDBentonit\*Cd: 2.079.

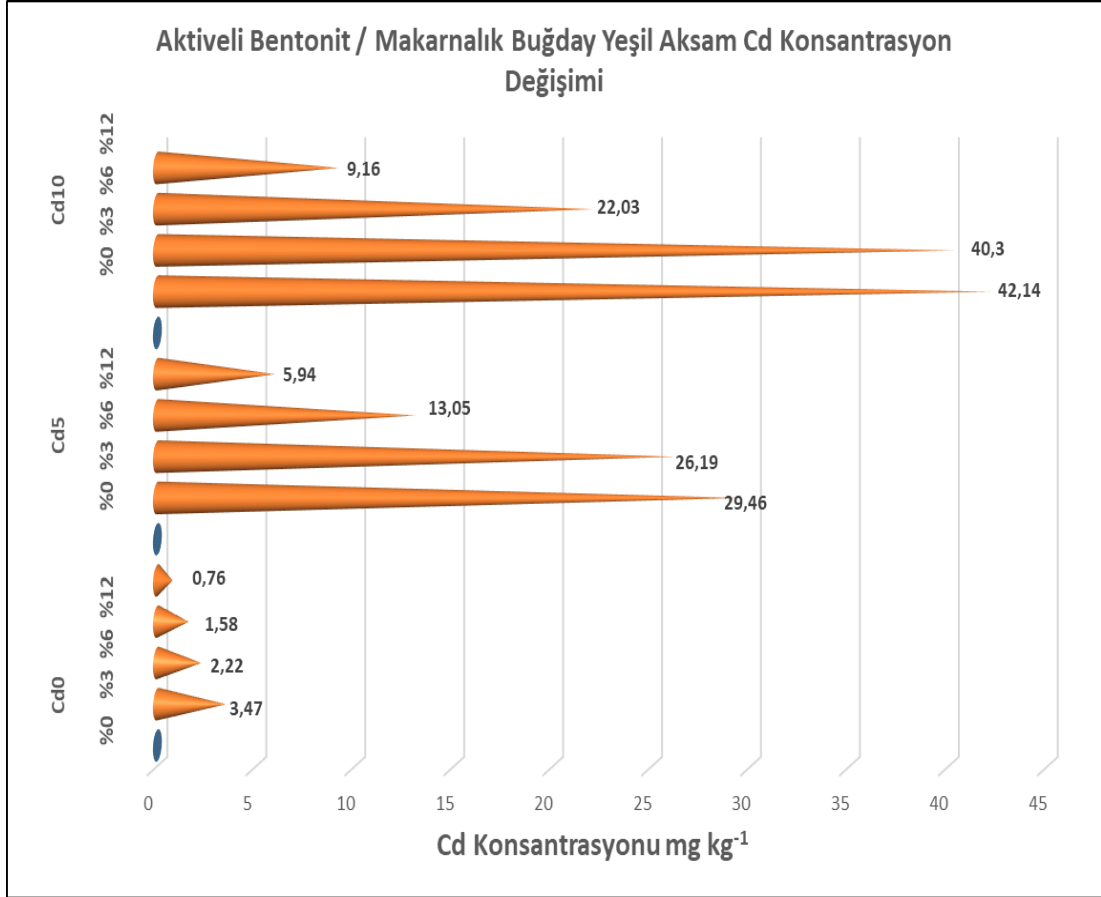
\*\*\* \*\* istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde önemli, ÖD: İstatistiksel olarak önemli değil.

Kadmiyum ve bentonit uygulamaları altında yetiştirilen makarnalık buğdayda da ekmeclik buğdayda olduğu gibi bentonitin Cd konsantrasyonunu azaltmadaki etkisi benzer şekilde görülmüştür. Cd0, Cd5 ve Cd10 dozları ile aktivesiz bentonit (%0, %3, %6, %12) uygulamaları kontrolle (Cd0, %0 bentonit) karşılaştırıldığında yeşil aksam Cd konsantrasyonlarında azalmaların olduğu ve bu azalışların istatistiksel olarak  $p < 0.05$  düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.2). Sonuçlar incelendiğinde, aktivesiz bentonitin Cd'nin her 3 dozunda da artan bentonit uygulamalarında yeşil aksam Cd konsantrasyonunda en fazla azalmanın kontrol ile karşılaştırıldığında %12 bentonit uygulamasında elde edildiği ve yaklaşık 1.5 kat düşürdüğü tespit edilmiştir (Şekil 4.19).



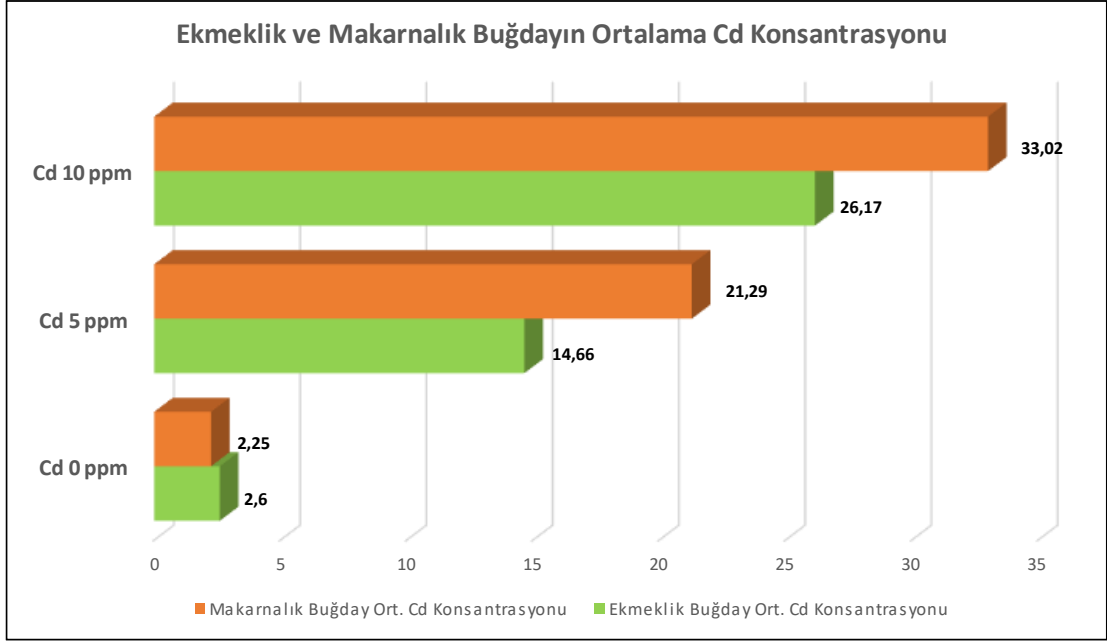
**Şekil 4.19** Aktivesiz Bentonit Uygulamalarının Makarnalık Buğdayın Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

Makarnalık buğdayda, kadmiyum ve aktiveli bentonit uygulamaları altında yeşil aksam Cd konsantrasyonlarında azalmaların olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.2). Sonuçlar incelendiğinde, aktiveli bentonitin Cd'nin her 3 dozunda da artan bentonit uygulamalarında yeşil aksam Cd konsantrasyonunda en fazla düşüşün kontrol ile karşılaştırıldığında %12 bentonit uygulamasında elde edildiği ve yaklaşık 4.5 kat düşürdüğü tespit edilmiştir (Şekil 4.20).



**Şekil 4.20** Aktiveli Bentonit Uygulamalarının Makarnalık Buğdayın Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

Bu çalışmada, artan Cd dozları ve artan bentonit uygulamaları sonucunda makarnalık buğdayın ekmeklik buğdaya göre daha fazla Cd biriktirdiği belirlenmiştir (Şekil 4.21). Literatürde de makarnalık buğdayların ekmeklik buğdaylara göre daha fazla Cd biriktirdiğine yönelik araştırmaların olduğu bilinmektedir (Yurdakul, 2017; Özkutlu, 2020; Yasemin, 2020).



**Şekil 4.21** Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın Bentonit ve Cd Uygulamalarıyla Ortalama Yeşil Aksam Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

Yapılan bir çalışmada kil minerallerinin, özellikle Ca-bentonit ve Na-bentonit uygulamasının, arıtma çamuru ile kirlenmiş topraklarda Cd mevcudiyetini azalttığı ortaya konmuştur (Usman ve ark., 2005). Pei ve ark., (2021) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise bentonitin toprakta Cd'nin değişebilirliğini önemli ölçüde engelleyebileceğini göstermişlerdir. Tito ve ark., (2017), sera koşullarında saksı denemesinde artan dozlarda 0; 30; 60 ve 90 t ha<sup>-1</sup> bentonit uygulayarak turp, mısır ve pancar yetiştirilmesinde sulama suyu olarak 0.2 mg L<sup>-1</sup> Cd konsantrasyonlu kalitesiz su kullanılmışlar. Yapılan bu çalışmada, düşük kaliteli su ile sulanan toprakta bentonit uygulamasının turp, mısır ve pancar bitkilerinin gelişimi üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahip olduğunu ve genel olarak bentonit, turp, mısır ve pancarın sürgün ve köklerinde Cd konsantrasyonunun azalmasını sağladığını açıklamışlardır.

Denemede hasat öncesi yeşil aksam gelişim farklılıklarını incelediğimizde ekmeklik buğdayın ve makarnalık buğdayın en yüksek doz olarak uygulanan Cd10 da, kadmiyum toksisitesine bağlı yeşil aksam gelişiminde düşüşler görülmüştür. Ortama bentonit eklenmesiyle en çarpıcı değişiklikler %12 aktiveli bentonit uygulamasında gerçekleşmiş, bentonit Cd taşınımını düşürdüğü için bitki yeşil aksam gelişiminde ciddi farklar oluşmuştur (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23).



**Şekil 4.22** Cd10 Dozunda Ekmeklik Buğday, %0 Aktiveli Bentonit ve %12 Aktiveli Bentonit Uygulmasıyla Bitkide Yeşil Aksam Değişimi



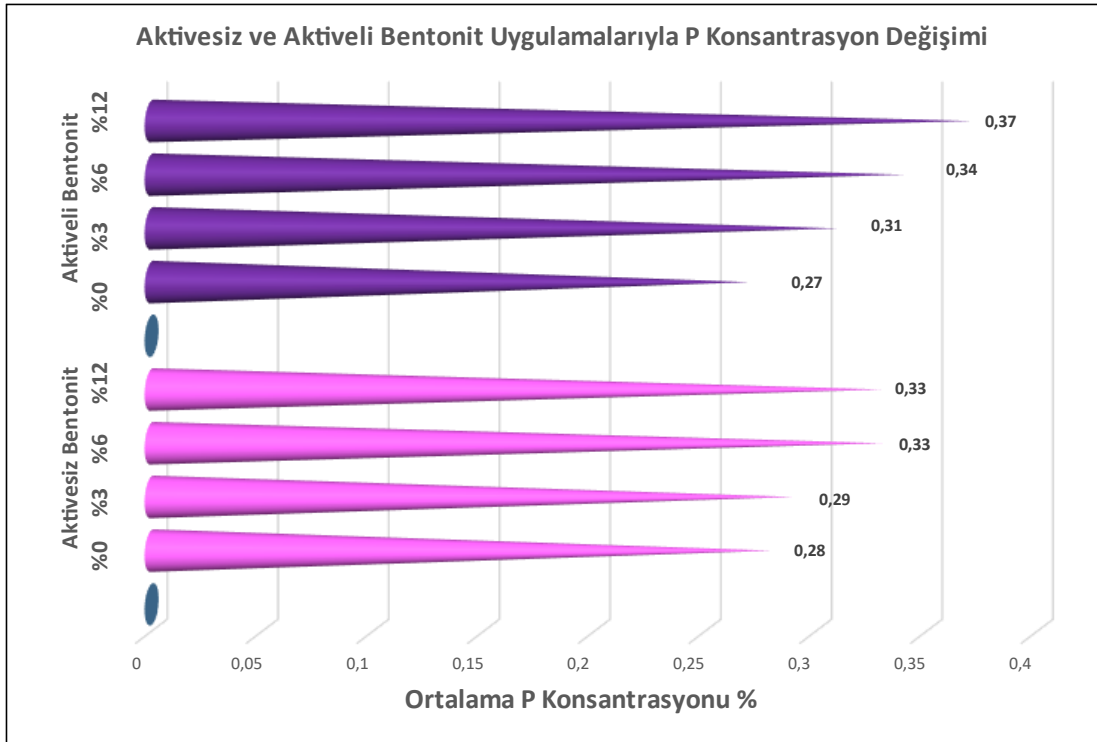
**Şekil 4.23** Cd10 Dozunda Makarnalık Buğday, %0 Aktiveli Bentonit ve %12 Aktiveli Bentonit Uygulamasıyla Bitkide Yeşil Aksam Değişim

#### **4.3 Bentonit Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayların Fosfor (P), Potasyum (K), Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg) Konsantrasyonları Üzerine Etkisi**

Sera koşullarında yürütülen saksı denemesine 3 farklı Cd (0, 5, 10 mg kg<sup>-1</sup>) ve 4 farklı Bentonit (%0, %3, %6, %12) uygulamaları altında ekmeklik ve makarnalık buğday bitkilerinin yeşil aksam Fe, Cu, Zn, Mn ve B konsantrasyonları belirlenmiştir. Kontrol grubundaki saksıların ölçülen mineral elementleri miktarıyla artan dozda bentonit ve Cd uygulanması sonucu ölçülen değerler kıyaslandığında bütün elementlerin tamamında farklılıkların olduğu saptanmıştır.

#### 4.3.1 Yeşil Aksam Fosfor Konsantrasyonu (%)

Araştırmada yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday bitkisine artan dozlarda Cd ve bentonit uygulamalarının bitki P konsantrasyonu üzerine etkisi çizelge 4.3 de verilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgulara göre ekmeklik ve makarnalık buğday bitkisinin fosfor konsantrasyonuna yönelik analiz sonucu istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Ekmeklik ve makarnalık buğdayda artan bentonit uygulamalarıyla kontrol grubuna göre P konsantrasyonlarında genel olarak artışlar meydana gelmiştir. Aktivesiz ve aktiveli bentonit kıyaslandığında ise aktiveli bentonitteki artışlar aktivesiz bentonite göre daha düzenli gerçekleşmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 Aktivesiz ve Aktiveli Bentonit Uygulamalarıyla Ortalama P Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%)

**Çizelge 4.3** Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bentonit)
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	0.35	0.32	0.22	0.30E-G
		%3	0.37	0.33	0.26	0.32C-E
		%6	0.38	0.36	0.29	0.35BC
		%12	0.43	0.37	0.31	0.37AB
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>		<b>0.38A</b>	<b>0.38B</b>	<b>0.27E</b>	<b>0.34A</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	0.27	0.29	0.28	0.28F-H
		%3	0.32	0.28	0.29	0.30E-G
		%6	0.34	0.37	0.35	0.35BC
		%12	0.33	0.38	0.33	0.35BC
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>		<b>0.32CD</b>	<b>0.33BC</b>	<b>0.32CD</b>	<b>0.32A</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>		<b>0.35A</b>	<b>0.34A</b>	<b>0.29C</b>	<b>0.33A</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	0.28	0.25	0.23	0.26H
		%3	0.24	0.28	0.29	0.28GH
		%6	0.34	0.31	0.29	0.31D-F
		%12	0.32	0.28	0.25	0.28F-H
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>		<b>0.29DE</b>	<b>0.29E</b>	<b>0.27E</b>	<b>0.28B</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	0.28	0.29	0.25	0.27GH
		%3	0.31	0.31	0.35	0.32C-E
		%6	0.35	0.31	0.37	0.34B-D
		%12	0.41	0.38	0.39	0.40A
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>		<b>0.34BC</b>	<b>0.32CD</b>	<b>0.34BC</b>	<b>0.33A</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>		<b>0.31B</b>	<b>0.30BC</b>	<b>0.30BC</b>	<b>0.31B</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0	0.31d-f	0.29e-g	0.23h	0.28E	
	%3	0.30d-g	0.31d-f	0.28fg	0.29DE	
	%6	0.36a-c	0.33b-d	0.29e-g	0.33BC	
	%12	0.38a	0.32c-e	0.28fg	0.33BC	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>		<b>0.34A</b>	<b>0.32B</b>	<b>0.27C</b>	<b>0.31B</b>	
Aktiveli Bentonit	%0	0.28fg	0.29e-g	0.26gh	0.27E	
	%3	0.31d-f	0.29e-g	0.32c-e	0.31CD	
	%6	0.34a-d	0.33b-d	0.36a-c	0.34B	
	%12	0.37ab	0.38a	0.36a-c	0.37A	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>		<b>0.32AB</b>	<b>0.33AB</b>	<b>0.33AB</b>	<b>0.33A</b>	
<b>Ortalama Cd</b>		<b>0.33A</b>	<b>0.32A</b>	<b>0.30B</b>		

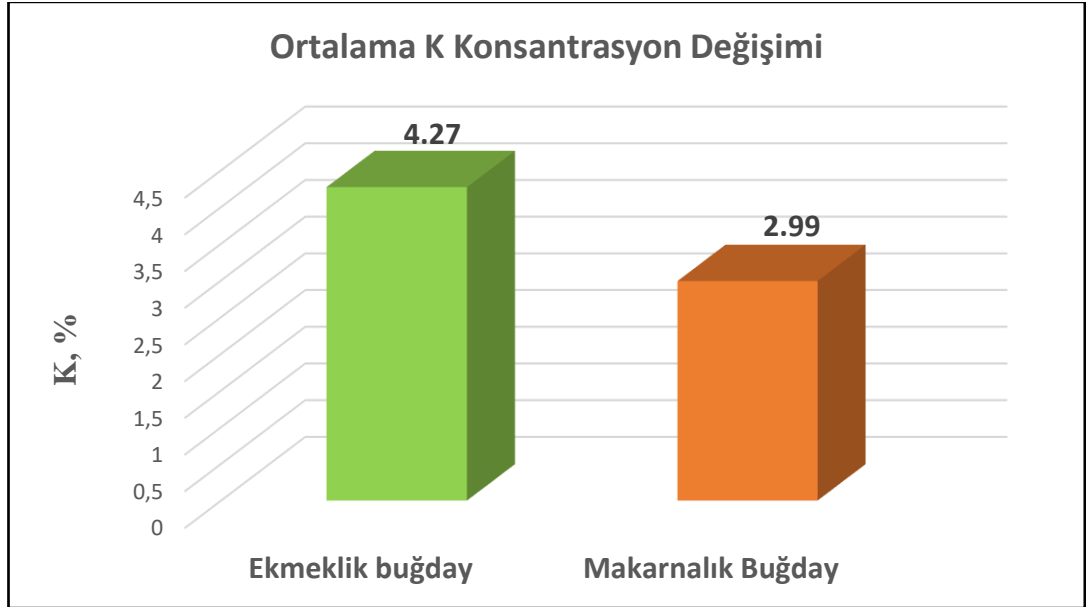
F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd\*\*\*, ÇeşitxBentonit\*\*\*, ÇeşitxCd\*\*, BentonitxCd\*\*\*  
 ÇeşitxBentonitxCd<sup>ÖD</sup>  
 LSDÇeşit:0.012, LSDBentonit:0.024, LSDCd:0.014, LSDÇeşit\*Bentonit:0.033, LSDÇeşit\*Cd:0.021, LSDBentonit\*Cd:0.041.

\*\*\* \*\* istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde önemli, ÖD: İstatistiksel olarak önemli değil



### 4.3.2 Yeşil Aksam Potasyum Konsantrasyonu (%)

Araştırmada yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday bitkisine 3 farklı dozda Cd (0, 5, 10 mg kg<sup>-1</sup>) ve 4 farklı artan dozda bentonit (%0, %3, %6, %12) uygulamaları altında ortalama bitki K konsantrasyonu değişimi çizelge 4.4 de verilmiştir. Ekmeklik buğdayda artan altivesiz ve aktiveli bentonit uygulaması sonucunda yeşil aksam K konsantrasyonları kontrole göre artmıştır. Makarnalık buğdayda ise artan altivesiz ve aktiveli bentonit uygulaması sonucunda yeşil aksam K konsantrasyonları kontrole göre azalmıştır. Ekmeklik ve makarnalık buğday karşılaştırıldığında ekmeklik buğdayın ortalama K konsantrasyonu %4.27 iken makarnalık buğdayın ortalama K konsantrasyonu %2.99 olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın Bentonit Uygulamaları Sonucu Ortalama K Konsantrasyon Üzerine Etkisi (%)

**Çizelge 4.4** Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Potasyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%)

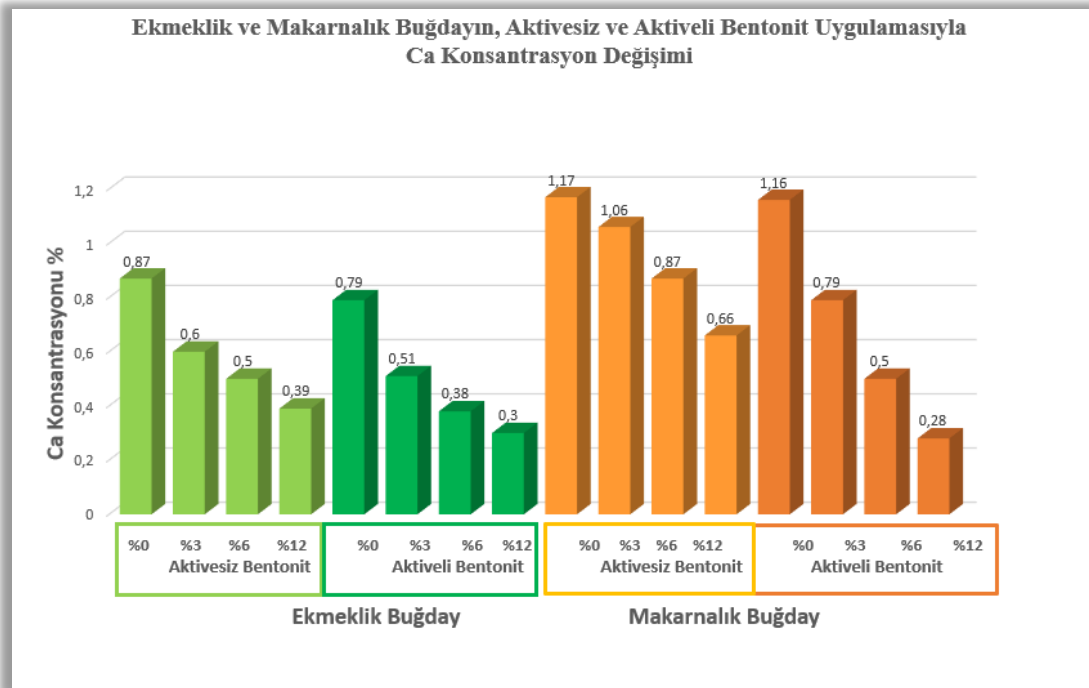
	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bentonit)	
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	4.04b-h	4.53a-e	3.74g-k	4.10C	
		%3	4.49a-e	4.53a-e	4.03c-h	4.35A-C	
		%6	4.39a-f	4.39a-f	4.48e	4.42AB	
		%12	4.55a-d	4.57ab	4.75a	4.62A	
	Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz			<b>4.37</b>	<b>4.51</b>	<b>4.25</b>	<b>4.38</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	3.82g-ı	3.89f-ı	4.43a-e	4.05C	
		%3	4.07b-h	4.04b-h	4.27a-g	4.13BC	
		%6	4.06b-h	4.67a	4.01e-h	4.25BC	
		%12	4.02d-h	4.56a-c	4.12b-h	4.23BC	
	Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz			<b>3.99</b>	<b>4.29</b>	<b>4.21</b>	<b>4.17</b>
Bentonit Türü *Cd			<b>4.18B</b>	<b>4.40A</b>	<b>4.23AB</b>	<b>4.27A</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	3.41ı-l	3.46ı-l	3.63h-k	3.50D	
		%3	2.47q-s	3.47ı-l	3.45ı-l	3.13EF	
		%6	2.24j-m	3.03ı-p	3.23j-n	3.17E	
		%12	2.97ı-q	2.53p-s	2.14s	2.54GH	
	Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz			<b>3.02</b>	<b>3.12</b>	<b>3.11</b>	<b>3.09</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	3.21k-o	3.76g-j	4.08b-h	3.68D	
		%3	2.68o-r	2.79m-r	2.99ı-q	2.82FG	
		%6	2.71n-r	2.68o-r	2.72m-r	2.70G	
		%12	2.38rs	2.39rs	2.28rs	2.35H	
	Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz			<b>2.75</b>	<b>2.91</b>	<b>3.02</b>	<b>2.89</b>
Bentonit Türü *Cd			<b>2.88C</b>	<b>3.01C</b>	<b>3.06C</b>	<b>2.99B</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0		3.73b-h	3.99ab	3.69b-h	3.80A	
	%3		3.48c-ı	4.00ab	3.74b-g	3.74AB	
	%6		3.81be	3.71b-h	3.85Bc	3.79AB	
	%12		3.76b-f	3.55c-ı	3.44e-ı	3.58BC	
Ortalama Bentonit*Cd			<b>3.69</b>	<b>3.82</b>	<b>3.68</b>	<b>3.73A</b>	
Aktiveli Bentonit	%0		3.52c-ı	3.82bd	4.26a	3.86A	
	%3		3.38g-ı	3.41f-ı	3.63b-h	3.47CD	
	%6		3.38f-ı	3.67b-h	3.36hı	3.47CD	
	%12		3.20ı	3.47d-ı	3.20ı	3.29D	
Ortalama Bentonit*Cd			<b>3.37</b>	<b>3.61</b>	<b>3.61</b>	<b>3.52B</b>	
Ortalama Cd			<b>3.53B</b>	<b>3.70A</b>	<b>3.65AB</b>		

F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd\*, ÇeşitxBentonit\*\*\*, ÇeşitxCd<sup>ÖD</sup>, BentonitxCd\*, ÇeşitxBentonitxCd\*\*  
LSDÇeşit:0.109, LSDBentonit:0.217, LSDCd:0.133, LSDÇeşit\*Bentonit:0.308, LSDÇeşit\*Cd: 0.188, LSDBentonit\*Cd:0.377

\*\*\*, \*\*, \* istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde, P<0.05 düzeyinde önemli, ÖD: İstatistiksel olarak önemli değil.

### 4.3.3 Yeşil Aksam Kalsiyum Konsantrasyonu (%)

Araştırmada yetiştirilen buğday çeşitlerine 3 farklı dozda Cd ve 4 farklı dozda bentonit uygulamaları altında ortalama bitki Ca konsantrasyonu çizelge 4.5 de verilmiştir. Artan dozlarda Cd ve bentonit uygulamaları sonucunda yeşil aksam kalsiyum konsantrasyon değişiminde istatistiki olarak  $P < 0.05$  düzeyinde önemli farkların olduğu belirlenmiştir. Hem ekmeklik hem makarnalık buğday çeşitlerine yapılan aktivesiz ve aktiveli bentonit uygulaması sonucunda kalsiyum konsantrasyonunun düştüğü görülmüştür. Ca-Bentonit ile yapılan bu çalışmada bentonitin Ca elementini değişebilir katyon tabakasında tuttuğu bilinmektedir (Akbulut, 1999). Ekmeklik buğdayda aktivesiz bentonit uygulamasında Cd0 dozunda kontrolde %0.75 iken %12 bentonit uygulamasıyla %0.36 düşmüştür. Aktiveli bentonitte de aynı uygulamada %0.74 den %0.31 düşerek benzer değişiklik göstermiştir. Makarnalık buğdayda ise aktifli bentonit uygulamalarında daha yüksek düşüşler saptanmıştır (Şekil 4.26). Yapılan uygulamalar sonucunda yeşil aksam Ca konsantrasyonları bitki için gerekli olan Ca yeterlilik değerleri arasında olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4.26** Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın Bentonit ve Cd Uygulamaları Sonucunda Yeşil Aksam Ca Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%)

**Çizelge 4.5** Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kalsiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bentonit)	
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	0.75kl	0.86h-k	1.01e-h	0.87C	
		%3	0.61m-f	0.58n-f	0.63l-o	0.60D	
		%6	0.47p-u	0.50o-s	0.53o-r	0.50E	
		%12	0.36t-x	0.38s-x	0.44q-v	0.39F	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>0.54</b>	<b>0.58</b>	<b>0.65</b>	<b>0.59</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	0.74k-m	0.73k-n	0.91g-j	0.79C	
		%3	0.51o-s	0.49o-t	0.52o-s	0.51E	
		%6	0.38s-x	0.41r-w	0.35u-x	0.38FG	
		%12	0.31v-x	0.31v-x	0.29wx	0.30GH	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>0.48</b>	<b>0.48</b>	<b>0.52</b>	<b>0.49</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>0.51C</b>	<b>0.53BC</b>	<b>0.58B</b>	<b>0.54B</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	1.12a-e	1.24a	1.15a-c	1.17A	
		%3	1.15a-d	1.01d-h	1.03c-g	1.06B	
		%6	0.73k-n	0.92f-j	0.96f-ı	0.87C	
		%12	0.57o-q	0.82ı-k	0.61m-f	0.66D	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>0.89</b>	<b>0.99</b>	<b>0.94</b>	<b>0.94</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	1.23a	1.19ab	1.05b-f	1.16A	
		%3	0.81jk	0.78jk	0.79jk	0.79C	
		%6	0.48o-u	0.52o-s	0.50o-s	0.50E	
		%12	0.29v-x	0.25x	0.30v-x	0.28H	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>0.71</b>	<b>0.69</b>	<b>0.66</b>	<b>0.68</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>0.80A</b>	<b>0.84A</b>	<b>0.80A</b>	<b>0.81A</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0		0.94	1.05	1.08	1.02A	
	%3		0.88	0.79	0.83	0.83B	
	%6		0.59	0.71	0.75	0.69C	
	%12		0.47	0.59	0.52	0.53D	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>0.72</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.77</b>	
Aktiveli Bentonit	%0		0.99	0.96	0.98	0.98A	
	%3		0.66	0.64	0.66	0.65C	
	%6		0.44	0.47	0.43	0.44E	
	%12		0.31	0.28	0.29	0.29F	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>0.61</b>	<b>0.59</b>	<b>0.59</b>	<b>0.59</b>	
<b>Ortalama Cd</b>			<b>0.66</b>	<b>0.69</b>	<b>0.69</b>		

F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd<sup>ÖD</sup>, ÇeşitxBentonit\*\*\*, ÇeşitxCd\*, BentonitxCd<sup>ÖD</sup>ÇeşitxBentonitxCd\*  
LSDÇeşit:0.029, LSDBentonit:0.058, LSDCd:0.036, LSDÇeşit\*Bentonit:0.083, LSDÇeşit\*Cd:0.051,  
LSDBentonit\*Cd:0.101, LSDÇeşit\*Bentonit\*Cd:0.143.

\*\*\*: \* istatistiksel olarak P<0.001, P<0.05 düzeyinde önemli, ÖD: İstatistiksel olarak önemli değil

#### 4.3.4 Yeşil Aksam Magnezyum Konsantrasyonu (%)

Çizelge 4.6 Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Magnezyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (%)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bentonit)
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	0.11	0.13	0.14	0.13B-E
		%3	0.13	0.15	0.13	0.14B-D
		%6	0.12	0.13	0.13	0.13C-E
		%12	0.12	0.14	0.13	0.13B-E
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>		<b>0.12</b>	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>	<b>0.13B</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	0.12	0.13	0.14	0.13B-E
		%3	0.14	0.14	0.14	0.14BC
		%6	0.18	0.19	0.17	0.18A
		%12	0.19	0.17	0.17	0.17A
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>		<b>0.16</b>	<b>0.16</b>	<b>0.16</b>	<b>0.16A</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>		<b>0.14</b>	<b>0.15</b>	<b>0.14</b>	<b>0.15A</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	0.13	0.14	0.14	0.13B-E
		%3	0.16	0.14	0.13	0.14B
		%6	0.11	0.13	0.13	0.12D-F
		%12	0.11	0.12	0.11	0.11F-H
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>		<b>0.13</b>	<b>0.13</b>	<b>0.13</b>	<b>0.13B</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	0.13	0.13	0.12	0.13C-E
		%3	0.12	0.11	0.12	0.12E-G
		%6	0.11	0.11	0.11	0.11G-H
		%12	0.11	0.09	0.09	0.09H
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>		<b>0.12</b>	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>	<b>0.11C</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>		<b>0.12</b>	<b>0.12</b>	<b>0.12</b>	<b>0.12B</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0	0.12	0.13	0.14	0.13B-D	
	%3	0.14	0.14	0.13	0.14AB	
	%6	0.12	0.13	0.13	0.13CD	
	%12	0.11	0.13	0.11	0.12D	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>		<b>0.13</b>	<b>0.14</b>	<b>0.13</b>	<b>0.13</b>	
Aktiveli Bentonit	%0	0.13	0.13	0.13	0.13B-D	
	%3	0.13	0.13	0.13	0.13B-D	
	%6	0.14	0.15	0.14	0.15A	
	%12	0.14	0.13	0.13	0.14A-C	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>		<b>0.14</b>	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>	
<b>Ortalama Cd</b>		<b>0.14A</b>	<b>0.13A</b>	<b>0.13A</b>		

F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*, Cd<sup>ÖD</sup>, ÇeşitxBentonit\*\*\*, ÇeşitxCd<sup>ÖD</sup>, BentonitxCd<sup>ÖD</sup>, ÇeşitxBentonitxCd<sup>ÖD</sup>  
LSDÇeşit:0.005, LSDBentonit:0.012, LSDCd:0.0073, LSDÇeşit\*Bentonit:0.016.

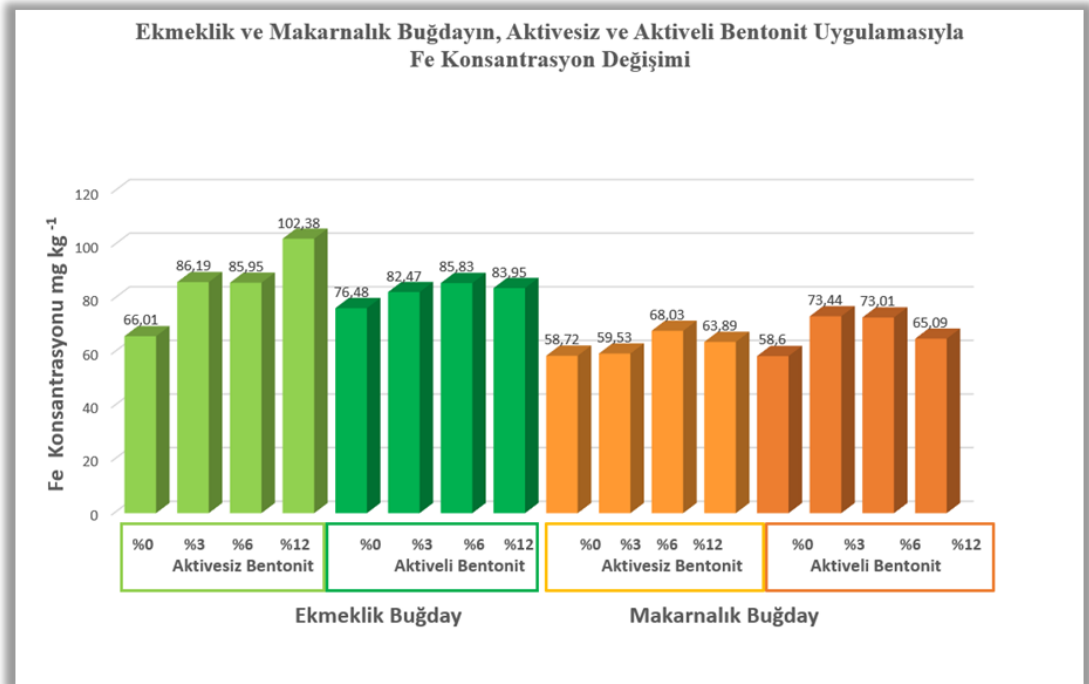
\*\*\* \*\* istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde önemli, ÖD: İstatistiksel olarak önemli değil.

Araştırmada yetiştirilen buğday çeşitleri 3 farklı dozda Cd (0, 5, 10 mg kg<sup>-1</sup>) ve 4 farklı dozda (%0, %3, %6, %12) uygulamaları altında ortalama bitki Mg konsantrasyonu çizelge 4.6 de verilmiştir. Ekmeklik ve makarnalık buğdayın bentonit ve Cd uygulaması sonunda oluşan Mg konsantrasyonu değişimi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.

#### 4.4 Bentonit Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayların Demir (Fe), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Mangan (Mn) ve Bor (B) Konsantrasyonları Üzerine Etkisi

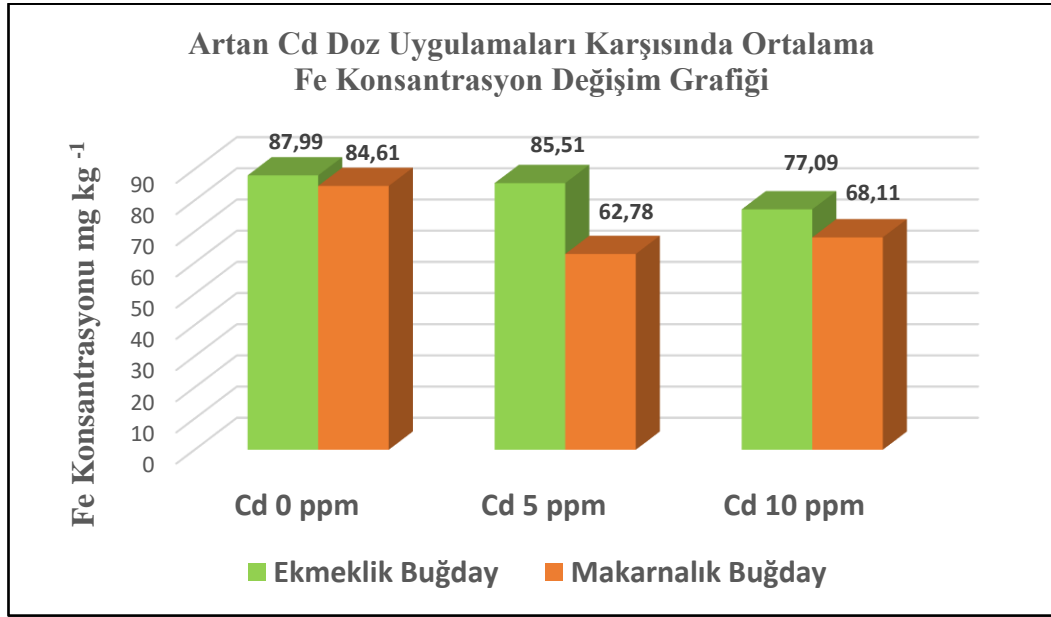
##### 4.4.1 Yeşil Aksam Demir Konsantrasyonu (mg kg<sup>-1</sup>)

Makarnalık ve ekmeklik buğday bitkisine 3 farklı dozda Cd (0, 5, 10 mg kg<sup>-1</sup>) ve 2 farklı bentonitin (aktivesiz ve aktiveli) artan dozlarda 4 farklı bentonit uygulamasının (%0, %3, %6, %12) bitki Fe konsantrasyonu üzerine etkisi çizelge 4.7 de verilmiştir. Çalışma sonucunda Cd ve Bentonit uygulamaları sonucunda bitki Fe konsantrasyonları arasında farkların olduğu ve bu farkların istatistiki olarak p<0.05 düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Hem ekmeklik hemde makarnalık buğdayda aktivesiz ve aktiveli bentonit doz uygulamalarının artmasıyla kontrol uygulamasına kıyasla bitki Fe konsantrasyonlarında artışların meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayın, Bentonit ve Cd Uygulamaları Sonucunda Yeşil Aksam Fe Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

Yapılan çalışmada kontrole göre Fe konsantrasyonunun en fazla artışın ekmeklik buğdayda Cd0 dozunda ve %12 aktivesiz bentonit ( $111.15 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında olduğu, makarnalık buğdayda ise Cd0 dozunda ve %12 aktivesiz bentonit ( $69.05 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Her iki buğday çeşidinde Cd uygulamalarının artmasıyla bitki Fe konsantrasyonlarında düşüşler meydana gelmiştir. En fazla düşüş makarnalık buğdayda, Cd0 uygulamasında bitki Fe konsantrasyonu  $85.51 \text{ mg kg}^{-1}$  iken Cd5 uygulamasında  $62.78 \text{ mg kg}^{-1}$ 'e düşmüştür (Şekil 4.28).



**Şekil 4.28** Artan Cd Doz Uygulamaları Karşısında Ortalama Fe Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

**Çizelge 4.7** Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Demir Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bent)	
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	64.40p-t	75.64g-m	57.96t-v	66.01E	
		%3	89.34b-d	88.84b-d	80.40d-1	86.19B	
		%6	82.00c-h	94.12b	78.73e-j	85.95B	
		%12	111.15a	113.84a	82.17c-h	102.38A	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>86.72B</b>	<b>93.11A</b>	<b>74.81CD</b>	<b>84.88A</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	84.81b-g	73.94h-o	70.71j-q	76.48C	
		%3	88.02b-e	76.82fl	82.57c-h	82.47B	
		%6	93.36b	82.67c-h	81.45d-1	85.83B	
		%12	90.87bc	78.26f-k	82.72c-h	83.95B	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>89.27AB</b>	<b>77.92C</b>	<b>79.36C</b>	<b>82.18A</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>87.99A</b>	<b>85.51A</b>	<b>77.09B</b>	<b>83.53A</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	62.29q-v	54.84uv	59.05s-v	58.72F	
		%3	60.71r-v	54.51uv	63.36p-u	59.53F	
		%6	69.38j-r	66.33m-t	68.39l-s	68.03DE	
		%12	65.11o-t	61.88q-v	64.67o-t	63.89EF	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>64.37E</b>	<b>59.39F</b>	<b>63.87EF</b>	<b>62.54C</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	53.33v	59.49s-v	65.99n-t	59.60F	
		%3	62.18q-v	72.11i-p	86.02b-f	73.44C	
		%6	74.84h-n	67.54l-s	76.65g-l	73.01CD	
		%12	69.05k-r	65.51n-t	60.62r-v	65.09E	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>64.85E</b>	<b>66.16E</b>	<b>72.35D</b>	<b>67.79B</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>84.61D</b>	<b>62.78D</b>	<b>68.11C</b>	<b>65.16B</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0		63.34jk	65.24j	58.50k	62.36F	
	%3		75.02c-f	71.68e-1	71.88e-h	72.86D	
	%6		75.69c-e	80.22bc	73.56d-g	76.49B-D	
	%12		88.13a	87.86a	73.42d-g	83.13A	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>75.55A</b>	<b>76.25A</b>	<b>69.34B</b>	<b>73.71</b>	
Aktiveli Bentonit	%0		69.07f-j	66.71h-j	68.35g-j	68.04E	
	%3		75.10c-f	74.46c-g	84.29ab	77.95BC	
	%6		84.10ab	75.11c-f	79.05b-d	79.42AB	
	%12		79.96b-d	71.89e-h	71.72e-1	74.52CD	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>77.06A</b>	<b>72.04B</b>	<b>75.85A</b>	<b>74.98</b>	
<b>Ortalama Cd</b>			<b>76.30A</b>	<b>74.14AB</b>	<b>72.60B</b>		

F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd\*\*, ÇeşitxBentonit\*\*\*, ÇeşitxCd\*\*\*, BentonitxCd\*\*\*, ÇeşitxBentonitxCd\*\*\*

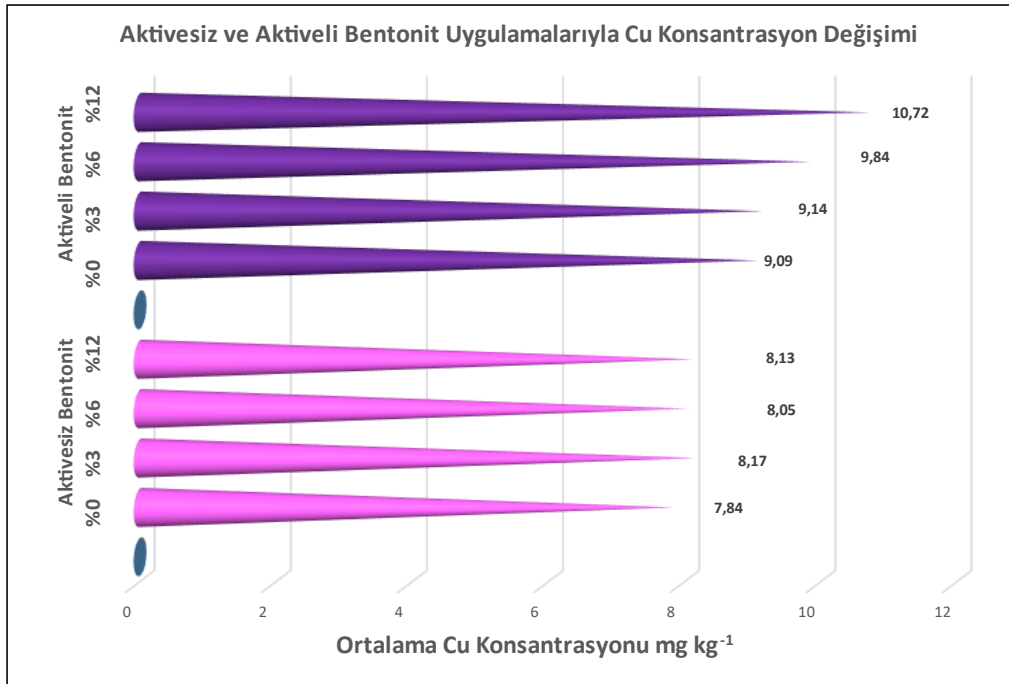
LSDÇeşit:1.908, LSDBentonit:2.698, LSDCd:2.337, LSDÇeşit\*Bentonit:3.816, LSDÇeşit\*Cd:3.305, LSDBentonit\*Cd:4.674,

\*\*\* \*\* \* istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde önemlidir.



#### 4.4.2 Yeşil Aksam Bakır Konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

Makarnalık ve ekmeklik buğday bitkisine 3 farklı dozda Cd ( $0, 5, 10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve 2 farklı bentonitin (aktivesiz ve aktively) artan dozlarda 4 farklı bentonit uygulamasının bitki Cu konsantrasyonu üzerine etkisi çizelge 4.8 de verilmiştir. Hem ekmeklik hem de makarnalık buğdayda Cd ve bentonit uygulamaları sonucunda bitki Cu konsantrasyonları arasında farkların olduğu ve bu farklar istatistiki olarak  $p < 0.05$  düzeyinde önemli bulunmuştur. Aktively ve aktivesiz bentonit uygulamalarında artan dozlarda Cu konsantrasyonunda kontrole göre artışlar saptanmıştır (Şekil 4.29).



Şekil 4.29 Aktivesiz ve Aktively Bentonit Uygulamalarıyla Ortalama Cu Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

Bentonit katyon değişim kapasitesi yüksek bir materyal olduğu için bitkide Cu miktarını artırmış ancak bu artışlar bitki için gerekli Cu sınır değerlerinin üstüne çıkmamıştır.

**Çizelge 4.8** Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Bakır Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bent)	
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	6.09wx	6.49t-x	7.03r-w	6.54G	
		%3	6.14wx	6.30wx	7.52p-u	6.65G	
		%6	5.84x	6.41u-x	7.87n-r	6.71G	
		%12	6.35v-x	6.71s-x	8.85o-s	6.67G	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>6.10G</b>	<b>6.47G</b>	<b>7.56F</b>	<b>6.71D</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	7.58p-t	8.02n-r	9.32h-m	8.31F	
		%3	8.45l-p	7.75o-s	7.83o-s	8.01F	
		%6	9.48g-l	9.95d-k	8.31m-q	9.25DE	
		%12	10.16c-j	10.47b-h	9.02j-n	9.88B-D	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>8.9E</b>	<b>9.04D</b>	<b>8.62DE</b>	<b>8.86C</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>7.51E</b>	<b>7.76DE</b>	<b>8.09D</b>	<b>7.78B</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	8.22m-q	9.27i-m	9.94d-k	9.14E	
		%3	8.86k-o	9.61g-l	10.60b-g	9.69C-E	
		%6	7.50p-v	10.24 b-ı	10.49b-g	9.41DE	
		%12	8.25m-q	9.99d-k	9.64f-k	9.29 DE	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>8.20E</b>	<b>9.97C</b>	<b>10.16BC</b>	<b>9.38B</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	7.22q-w	11.08b-d	11.35b	9.88B-D	
		%3	9.69f-k	9.89e-k	11.24bc	10.27BC	
		%6	10.33b-ı	9.98d-k	11.03b-e	10.44A	
		%12	12.56a	10.79b-f	11.36b	11.56A	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>9.95BC</b>	<b>10.43B</b>	<b>11.24A</b>	<b>10.54A</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>9.08C</b>	<b>10.11B</b>	<b>10.71A</b>	<b>9.96A</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0		7.16	7.87 jk	8.49 g-j	7.84D	
	%3		7.50k	7.95ı-k	9.06e-h	8.17D	
	%6		6.67l	8.32h-j	9.18d-g	8.05D	
	%12		7.29kl	8.35h-j	8.75f-ı	8.13D	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>7.15E</b>	<b>8.12D</b>	<b>8.86C</b>	<b>8.05B</b>	
Aktiveli Bentonit	%0		7.40kl	9.55c-f	10.34bc	9.09C	
	%3		9.07e-h	8.82 f-h	9.54c-f	9.14C	
	%6		9.91b-d	9.96b-d	9.67c-e	9.84B	
	%12		11.36a	10.63ab	10.19bc	10.72A	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>9.43B</b>	<b>9.74AB</b>	<b>9.93A</b>	<b>9.70A</b>	
<b>Ortalama Cd</b>			<b>8.29C</b>	<b>8.93B</b>	<b>9.40A</b>		

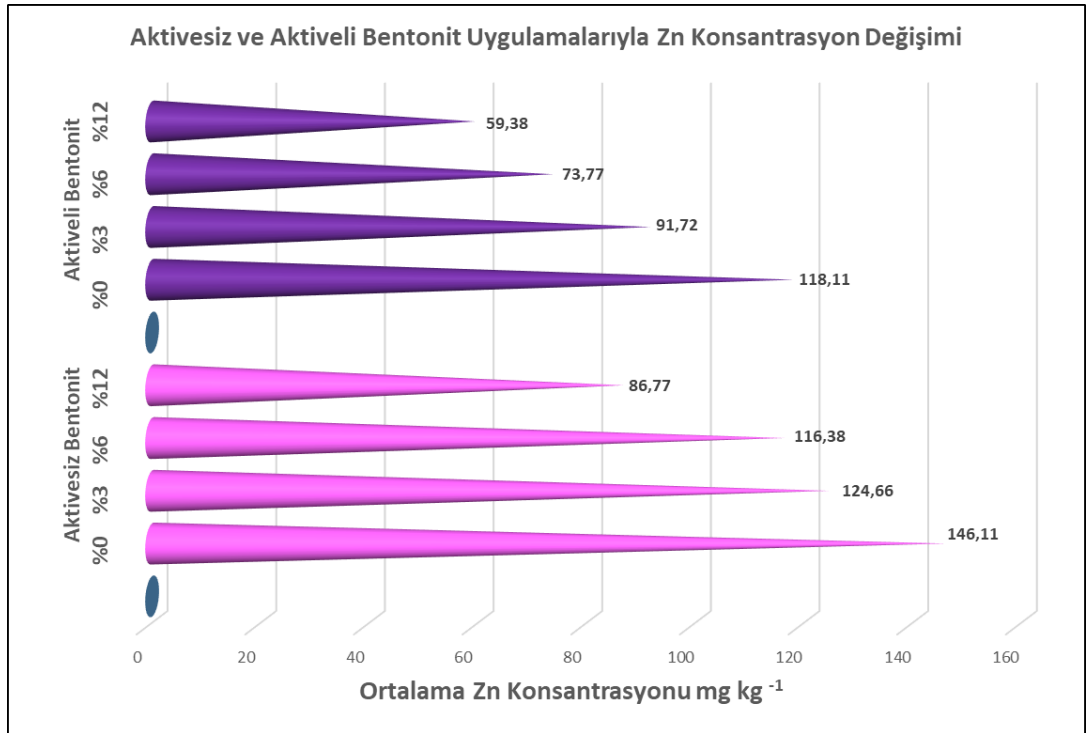
F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd\*\*\*, ÇeşitxBentonit\*\*, ÇeşitxCd\*\*\*, BentonitxCd\*\*\*, ÇeşitxBentonitxCd\*\*\*

LSDÇeşit:1.908, LSDBentonit:2.698, LSDCd:2.337, LSDÇeşit\*Bentonit:3.816, LSDÇeşit\*Cd:3.305, LSDBentonit\*Cd:4.674

\*\*\* \*\* istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde önemlidir.

#### 4.4.3 Yeşil Aksam Çinko Konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

Makarnalık ve ekmeklik buğday bitkisine 3 farklı dozda Cd ve 2 farklı bentonitin (aktivesiz ve aktiveli) artan dozlarda 4 farklı bentonit uygulamasının bitki Zn konsantrasyonu üzerine etkisi çizelge 4.9 de verilmiştir. Hem ekmeklik hem de makarnalık buğdayda Cd ve bentonit uygulamaları sonucunda bitki Zn konsantrasyonları arasında farkların olduğu ve bu farklar istatistiki olarak  $p < 0.05$  düzeyinde önemli bulunmuştur. Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerine yapılan Zn konsantrasyonuna yönelik analiz sonucunda artan miktarlarda bentonit uygulamasının Çinko konsantrasyonunu düşürdüğü görülmüştür (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 Aktivesiz ve Aktiveli Bentonit Uygulamalarıyla Ortalama Zn Konsantrasyonu Üzerine Etkisi ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

**Çizelge 4.9** Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Çinko Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bent)	
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	165bc	220a	119f-j	167.77A	
		%3	153cd	180b	91m-r	141.22B	
		%6	135d-g	150c-e	87n-t	123.99C	
		%12	109i-n	113g-l	77p-v	99.55D	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>140.33B</b>	<b>165.75A</b>	<b>93.24EF</b>	<b>133.11A</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	93l-q	86o-t	133d-g	104D	
		%3	65t-w	76p-v	91m-r	77.33EF	
		%6	57u-w	70r-w	68s-w	65.11FG	
		%12	55vw	63u-w	63u-w	59.44G	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>67.00I</b>	<b>73.66HI</b>	<b>88.75FG</b>	<b>76.47D</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>103.66B</b>	<b>119.70A</b>	<b>91C</b>	<b>104.80A</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	95k-p	130e-1	148c-e	124.44C	
		%3	79p-u	108i-o	138d-f	108.11D	
		%6	92l-r	104j-o	131d-h	108.88D	
		%12	62u-w	72q-v	88n-s	74EF	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>82.00GH</b>	<b>103.16DE</b>	<b>126.41C</b>	<b>103.86B</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	110h-m	141de	145c-e	132.22BC	
		%3	72q-v	117f-k	130e-1	106.11D	
		%6	77p-v	78p-u	93l-q	82.44E	
		%12	52w	60u-w	63u-w	59.33G	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>78.50GH</b>	<b>98.08D-F</b>	<b>107.50D</b>	<b>95.02C</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>80.25D</b>	<b>101.12B</b>	<b>116.95A</b>	<b>99.44B</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0		130b-d	175a	133bc	146.11A	
	%3		116d-f	144b	114d-f	124.66A	
	%6		114ef	127c-e	109fg	116.38B	
	%12		85i-k	93h-j	83i-l	86.77C	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>111.16B</b>	<b>134.45A</b>	<b>109.83B</b>	<b>118.48A</b>	
Aktiveli Bentonit	%0		102f-h	114fe	139bc	118.11B	
	%3		68l-n	96g-1	110fg	91.72C	
	%6		67l-n	74k-m	80j-1	73.77D	
	%12		54n	62mn	63mn	59.38E	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>72.75E</b>	<b>86.37D</b>	<b>98.12C</b>	<b>85.75B</b>	
<b>Ortalama Cd</b>			<b>91.95C</b>	<b>110.41A</b>	<b>103.97B</b>		

F değerleri: Çeşit\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd\*\*, ÇeşitxBentonit\*\*\*, ÇeşitxCd\*\*, BentonitxCd\*\*\*, ÇeşitxBentonitxCd\*\*\*

LSDÇeşit:4.531, LSDBentonit:9.061, LSDCd:5.549, LSDÇeşit\*Bentonit:12.814, LSDÇeşit\*Cd:7.847, LSDBentonit\*Cd: 15.695.

\*\*\*: istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde önemli, ÖD: İstatistiksel olarak önemli değil

Ekmeklik buğdayda aktivesiz bentonit uygulamasında Cd0 dozunda kontrolde 165 mg kg<sup>-1</sup> iken %12 bentonit uygulamasıyla 109 mg kg<sup>-1</sup> düşmüştür. Aktiveli bentonitte de aynı uygulamada 93 mg kg<sup>-1</sup> den 55 mg kg<sup>-1</sup> düşerek benzer değişiklik göstermiştir. Makarnalık buğdayda ise aktiveli bentonit uygulamalarında daha yüksek düşüşler saptanmıştır (Çizelge 4.9). Yapılan uygulamalar sonucunda yeşil aksam Zn konsantrasyonları bitki için gerekli olan Zn yeterlilik değerleri arasında olduğu belirlenmiştir.

Sera koşullarında yapılan bir çalışmada toprakta Cd' ye maruz kalan bitkilerin, yaprakta terlemeyi azaltıp, stomaların iletkenliğini düşürdüğü ve bununla birlikte yaprak nispi su dengesini bozduğu, bitkide osmotik stresi artırdığını belirlemişlerdir. Çalışma sonunda bitkide Cd'nin fizyolojik hasara neden olduğunu belirlemişlerdir. Tüm bu sonuçların neticesinde kadmiyumun bitkide Fe ve Zn alımını azaltarak yaprak klorozuna neden olduğunu ileri sürmüşlerdir (Gallego ve ark., 2012).

#### **4.4.4 Yeşil Aksam Mangan Konsantrasyonu (mg kg<sup>-1</sup>)**

Makarnalık ve ekmeklik buğday bitkisine 3 farklı dozda Cd ve 2 farklı bentonitin (aktivesiz ve aktiveli) artan dozlarda 4 farklı bentonit uygulamasının bitki Mn konsantrasyonu üzerine etkisi çizelge 4.10 de verilmiştir. Hem ekmeklik hem de makarnalık buğdayda Cd ve bentonit uygulamaları sonucunda bitki Mn konsantrasyonları arasında farkların olduğu ve bu farklar istatistiki olarak p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Artan bentonit uygulamaları sonucunda makarnalık buğdayın yeşil aksam Mn konsantrasyonunun ekmeklik buğdaya göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hem ekmeklik hemde makarnalık buğdayın artan Cd dozları uygulaması sonucunda bitki Mn alımının düştüğü belirlenmiştir. Aktivesiz ve aktiveli bentonit karşılaştırıldığında aktivesiz bentonit uygulamalarının Mn alımını artırdığı görülmüştür.

**Çizelge 4.10** Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Mangan Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bent)	
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	203.66a	156.33cd	119.33g-1	159.70B	
		%3	171.33bc	110.331-k	73.00o-q	118.22D	
		%6	130.33fg	101.33j-1	58.00q-u	96.55E	
		%12	74.33op	56.66r-v	39.66w-y	56.88GH	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>144.91A</b>	<b>106.16CD</b>	<b>72.50G</b>	<b>107.86B</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	128.66fh	97.33k-m	110.00ı-k	112.01D	
		%3	72.33o-r	64.33p-t	55.00s-w	63.88G	
		%6	34.66xy	37.33xy	28.00y	33.33J	
		%12	47.00u-x	48.00u-x	48.66t-x	47.88HI	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>70.66G</b>	<b>61.75H</b>	<b>60.41H</b>	<b>64.27D</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>107.79B</b>	<b>83.95D</b>	<b>66.45E</b>	<b>86.06B</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	173.66b	176.00bc	148.00de	162.88B	
		%3	139.66ef	114.00h-j	132.33e-g	128.66C	
		%6	135.66ef	101.00j-m	95.00k-m	110.55D	
		%12	91.00l-n	70.00o-s	76.00n-p	79.00F	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>135.01B</b>	<b>113.01C</b>	<b>112.83C</b>	<b>120.27A</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	202.00a	181.66b	146.33de	176.66A	
		%3	100.66jm	92.66lm	85.33m-o	92.88E	
		%6	43.00u-y	42.00v-y	46.33u-x	43.77I	
		%12	48.33u-x	64.66p-s	57.66q-v	56.88GH	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>98.50DE</b>	<b>95.25E</b>	<b>83.91F</b>	<b>92.55C</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>116.75A</b>	<b>104.12B</b>	<b>98.37C</b>	<b>106.41A</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0		188.66a	161.66b	133.66cd	161.33A	
	%3		155.50b	112.16e	102.66e	123.44C	
	%6		133.00cd	101.16e	76.50gf	103.55D	
	%12		82.66f	63.33hı	57.83ij	67.94F	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>139.95A</b>	<b>109.58B</b>	<b>92.66C</b>	<b>114.06A</b>	
Aktiveli Bentonit	%0		165.33b	139.50c	128.16d	144.33B	
	%3		86.50f	78.50fg	70.16gh	78.38E	
	%6		38.83k	39.66k	37.16k	38.55H	
	%12		47.66jk	56.33ij	53.16ij	52.38G	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>84.58D</b>	<b>78.50E</b>	<b>72.16F</b>	<b>78.4B</b>	
<b>Ortalama Cd</b>			<b>112.27A</b>	<b>94.04B</b>	<b>82.41C</b>		

F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd\*\*\*, ÇeşitxBentonit\*\*\*, ÇeşitxCd\*\*\*, BentonitxCd\*\*\*, ÇeşitxBentonitxCd\*\*\*  
LSDÇeşit:3.214, LSDBentonit:6.429, LSDCd:3.937, LSDÇeşit\*Bentonit:9.092, LSDÇeşit\*Cd:5.567, LSDBentonit\*Cd:11.137  
\*\*\* \*\* istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde önemli, ÖD: İstatistiksel olarak önemli değil

#### 4.4.5 Yeşil Aksam Bor Konsantrasyonu (mg kg<sup>-1</sup>)

Makarnalık ve ekmeklik buğday bitkisine 3 farklı dozda Cd ve 2 farklı bentonitin (aktivesiz ve aktively) artan dozlarda 4 farklı bentonit uygulamasının bitki B konsantrasyonu üzerine etkisi çizelge 4.11 de verilmiştir. Hem ekmeklik hem de makarnalık buğdayda Cd ve bentonit uygulamaları sonucunda bitki B konsantrasyonları arasında farkların istatistiki olarak  $p < 0.05$  düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Ekmeklik buğdayın ortalama yeşil aksam B konsantrasyonu 4.48 mg kg<sup>-1</sup> iken makarnalık buğdayın ortalama yeşil aksam B konsantrasyonu 3.71 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Her iki çeşitte de aktivesiz bentonit uygulamaları sonucu yeşil aksam B konsantrasyonlarında daha fazla artışlar gelmiştir. Buna göre aktivesiz bentonit uygulamalarında ortalama B konsantrasyonu 4.70 mg kg<sup>-1</sup> iken aktively bentonitte ise ortalama B konsantrasyonu 3.79 mg kg<sup>-1</sup> olarak saptanmıştır. Artan Cd uygulamaları ile beraber B konsantrasyonlarında da artışlar meydana gelmiştir. Cd 0, 5 ve 10 ppm uygulamalarında yeşil aksam B konsantrasyonları sırasıyla 3.99 mg kg<sup>-1</sup>, 4.02 mg kg<sup>-1</sup>, 4.27 mg kg<sup>-1</sup> olarak arttığı belirlenmiştir.

**Çizelge 4.11** Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamasının, Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Bor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg<sup>-1</sup>)

	Bentonit Türü	Bentonit Dozu	Cd 0 ppm	Cd 5 ppm	Cd 10 ppm	Ortalama (Çeşit*Bent)	
Ekmeklik Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	3.97e-k	3.81e-l	4.47c-g	4.08DE	
		%3	4.57c-g	4.72c-e	4.78c-e	4.69BC	
		%6	4.02e-j	5.33c	5.20cd	4.85B	
		%12	5.31c	6.86b	6.42b	6.21A	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>4.48A</b>	<b>5.18A</b>	<b>5.22A</b>	<b>4.96A</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	4.13e-1	3.42h-o	4.05e-j	3.87D-F	
		%3	4.77c-e	4.03e-j	4.37c-h	4.39B-D	
		%6	4.64c-f	4.18d-1	3.56g-n	4.13C-E	
		%12	3.63f-m	3.78e-l	3.41h-o	3.61E-G	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>4.29BC</b>	<b>3.85C</b>	<b>3.85C</b>	<b>4.00C</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>4.38A</b>	<b>4.52A</b>	<b>4.53A</b>	<b>4.48A</b>	
Makarnalık Buğday	Aktivesiz Bentonit	%0	3.91e-k	3.34i-o	3.08j-o	3.48F-H	
		%3	3.85e-l	3.56g-n	3.57g-n	3.66EF	
		%6	3.97e-k	4.13e-1	4.19d-1	4.10DE	
		%12	4.19d-1	5.30c	10.16a	6.55A	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>3.98BC</b>	<b>4.08BC</b>	<b>5.25A</b>	<b>4.44B</b>
	Aktiveli Bentonit	%0	3.39h-o	2.66m-o	2.56no	2.87H-I	
		%3	4.14e-1	2.99k-o	2.99k-o	3.37F-H	
		%6	2.53o	2.86l-o	2.66m-o	2.68I	
		%12	2.85l-o	3.43h-o	2.87l-o	3.05G-I	
	<b>Çeşit *Bentonit Türü*Cd Doz</b>			<b>3.22D</b>	<b>2.99D</b>	<b>2.77D</b>	<b>2.99D</b>
<b>Bentonit Türü *Cd</b>			<b>3.60C</b>	<b>3.53C</b>	<b>4.01B</b>	<b>3.71B</b>	
Aktivesiz Bentonit	%0		3.94e-h	3.58f-j	3.77e-1	3.76CD	
	%3		4.21c-f	4.14c-f	2.17c-f	4.17BC	
	%6		4.01d-g	4.73c	4.69cd	4.47B	
	%12		4.77c	6.08b	8.29a	6.38A	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>4.23C</b>	<b>4.63B</b>	<b>5.23A</b>	<b>4.70A</b>	
Aktiveli Bentonit	%0		3.76e-j	3.04j	3.31g-j	3.37DE	
	%3		4.45c-e	3.51f-j	3.68f-j	3.88C	
	%6		3.58f-j	3.52f-j	3.11ij	3.40DE	
	%12		3.24h-j	3.60f-j	3.14ij	3.33E	
<b>Ortalama Bentonit*Cd</b>			<b>3.76D</b>	<b>3.42DE</b>	<b>3.31E</b>	<b>3.49B</b>	
<b>Ortalama Cd</b>			<b>3.99B</b>	<b>4.02AB</b>	<b>4.27A</b>		

F değerleri: Çeşit\*\*\*, Bentonit\*\*\*, Cd\*\*\*, ÇeşitxBentonit\*\*, ÇeşitxCd\*\*\*, BentonitxCd\*\*\*, ÇeşitxBentonitxCd\*\*\*  
LSDÇeşit:0.208, LSDBentonit:0.417, LSDCd:0.255, LSDÇeşit\*Bentonit:0.590, LSDÇeşit\*Cd:0.361, LSDBentonit\*Cd:0.723, LSDÇeşit\*Bentonit\*Cd:1.022.

\*\*\*: istatistiksel olarak P<0.001, P<0.01 düzeyinde önemli, ÖD: İstatistiksel olarak önemli değil



## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sanayileşmenin hızla ilerlemesi ve değişik kaynaklardan topraklara ulaşan ve önemli bir çevre kirleticisi olan Cd, bitki, hayvan ve insanların beslenmesinde mutlak gerekli bir element değildir. Kadmiyum, yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu, bitki, hayvan ve insanlara toksik etkisi olan bir elementtir. Tarım topraklarına Cd kontaminasyonu sonunda gıda zincirine dahil olarak insanlığı tehdit etmektedir. Cd toprakta ve bitkide yüksek hareket kabiliyetine sahip olması nedeniyle topraktan kök yoluyla yeşil aksam ve dane kadar kolayca ulaşabilmektedir. Bu nedenle, buğday tarafından topraktan Cd alımını düşürmek için son yıllarda bilimsel çalışmalar hızla artmaktadır. Buğday tarafından Cd alımını azaltmak için biochar, organik iyileştiriciler, mineral gübreler, çeşitli besin elementleri, hayvan gübresi, kompost ve bentonit gibi uygulamalar yapılmaktadır. Bentonit ağır metalleri adsorpsiyonu diğer materyallerle karşılaştırıldığında çok daha etkili olduğu ileri sürülmektedir. Asit topraklarda ağır metal hareketliliği fazla olmaktadır. Asidik topraklarda yüksek pH'sı ile bentonit uygulamalarının asitliği düşürerek ağır metallerin hareketliliğini azaltmakta ve bitkiye taşınımı düşürmektedir. Bu özelliğinden başka, bentonitlerin yüksek KDK'si sayesinde bitkinin ihtiyacı olan besin elementlerinin alımını kolaylaştırarak tarımsal verimliliği arttırmaktadır.

Araştırmada yetiştirilen, ekmeçlik ve makarnalık buğday bitkisine 3 farklı dozda Cd (0, 5, 10 mg kg<sup>-1</sup>) ve 4 farklı (%0, %3, %6, %12) artan dozlarda aktivesiz ve aktiveli bentonit uygulanmıştır. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, bentonit ilavesiyle muhtemelen topraktaki Cd'nin kompleks oluşumu sonucunda Cd'nin hareketliliğini azalttığı ve buna bağlı olarak daha düşük miktarda Cd taşınmasını gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Kadmiyumsuz ve Cd'li ortamlara artan oranlarda aktivesiz ve aktiveli bentonite uygulaması sonucunda önemli bulgular elde edilmiş olup ve aşağıda sıralanmıştır. Buna göre;

- ✓ Bentonit uygulamalarının artan dozlarda bitki veriminde ciddi artışlar sağladığı belirlenmiştir. Ekmeçlik ve makarnalık buğdayın ortalama kuru madde verimleri karşılaştırıldığında, ekmeçlik buğdayda ortalama kuru madde ağırlığı 692 mg bitki<sup>-1</sup> iken makarnalık buğdayda 384 mg bitki<sup>-1</sup> olduğu ve iki çeşit arasında yaklaşık 2 kat oranında bir fark olduğu belirlenmiştir.

- ✓ Aktivesiz ve aktivenli bentonit uygulamalarında bitki kuru madde veriminin aktivenli bentonitte daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aktivenli bentonitin ortalama kuru madde miktarını aktivesiz bentonite göre %24 daha fazla artırdığı belirlenmiştir.
- ✓ Ekmeklik ve makarnalık buğdayın Cd alımı karşılaştırıldığında, makarnalık buğdayın ekmeklik buğdaya göre daha fazla Cd biriktirdiği saptanmıştır. Ekmeklik ve makarnalık buğdayda artan Cd dozlarında aktivenli bentonit uygulamasının aktivesiz bentonite göre bitkinin Cd alımını daha fazla azalttığı belirlenmiştir. Uygulama sonunda ortalama Cd miktarı aktivesiz bentonitte 18.79 mg kg<sup>-1</sup> iken aktivenli bentonitte 14.54 mg kg<sup>-1</sup> e düşerek %22.6 oranında Cd alımını azaltmıştır.

Yukarıda vurgulanan bentonitin özellikleri ve elde edilen bu sonuçlar göstermektedir ki; Cd ile kirlenmiş topraklara bentonit uygulanmasıyla buğdayda Cd alımını azaltılmasında bentonitin kullanılabilceğini ortaya koymuştur. Bundan başka, bentonitin yüksek katyon değişim kapasitesine sahip olması bitkiye daha fazla besin elementi taşınmasını sağlayarak bitkinin gelişim ve verimini pozitif etkileyebilmektedir. Aktivesiz ve aktivenli bentonitin tarımsal alanlarda uygulanarak çok yönlü etkilerini ortaya çıkarmak için araştırmaların yaygınlaşmasını önerebiliriz.

## 6. KAYNAKLAR

- Abdelfattah, MM., Géber, R., Abdel-Kader, NA., & Kocserha, I. (2022). Assessment of the mineral phase and properties of clay-Ca bentonite lightweight aggregates. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(2), 1-14.
- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Qayyum, MF. & Irshad, MK. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 119, 186-197.
- Akbulut, A. (1996). Bentonit MTA Eğitim Serisi-32.
- Al Mamun, S., Chanson, G., Benyas, E., Aktar, M., Lehto, N., McDowell, R., Gavanagh, J., Kellarman, L., Clucas, L. & Robinson, B. (2016). Municipal composts reduce the transfer of Cd from soil to vegetables. *Environmental Pollution*, 213, 8-15.
- Asri, FÖ., Sönmez, S. & Çıtak, S. (2007). Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Derim*, 24(1), 32-39.
- Azough, A., Marashi, SK. & Babaeinejad, T. (2017). Growth characteristics and response of wheat to cadmium, nickel and magnesium sorption affected by zeolite in soil polluted with armaments. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 5(3), 163-171.
- Bouyoucos, GJ. (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy Journal*, 43(9), 434-438.
- Boylu, F., Bulut, G., Hacıoğlu, S., Yüce, AE., Çinku, K. & Çelik, MS. (2008). Hydrocyclone separation of Ca-bentonites. In Proceedings of XXIV International Mineral Processing Congress (pp. 4309-4317).
- Bray, RH. & Kurtz, LT. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39-46.
- Bremmer, JM. & Mulvaney, CS. (1965). Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. *Agronomy*, 9, 1179-1237.
- Brohi R., A., Durak, A. & Erşahin, S. (1990) Kireçsiz kahverengi orman toprağına ilave edilen bentonitin mısır bitkisinin kuru madde miktarı ile n kapsamı üzerine etkisi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 6 , sayı 1.
- Cheng, Y., Chon, K., Ren, X., Li, M., Kou, Y., Hwang, MH. & Chae, KJ. (2021). Modified bentonite as a conditioning agent for stabilising heavy metals and retaining nutrients in sewage sludge for agricultural uses. *Water Science and Technology*, 84(9), 2252-2264.
- Czaban, J. & Siebielec, G. (2013). Effects of bentonite on sandy soil chemistry in a long-term plot experiment (II); effect on pH, CEC, and macro-and micronutrients. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(6).
- Çağlar, KÖ. (1949). Toprak Bilgisi Ders Kitabı, Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yay, (10).

- Dünder, Ö., Demircioğlu, H., Özkaya, O., Valizadeh, A., Daşgan, H.Y. & Akhoundnejad, Y. (2016). Organik eğitimde farklı uygulamaların bakımı ve kalite özelliklerine yönelik faydalar. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 305-312.
- El-Nagar, DA. & Abdel-Halim, KY. (2021). Remediation of heavy metals in contaminated soil by using nano-bentonite, nano-hydroxyapatite, and nano-composite. *Land Degradation & Development*, 32(16), 4562-4573.
- Erdil, A. (2019) Asitle aktive edilmiş bentonite uygulanan amonyum azotunun çeltiğin gelişim ve azot beslenmesine etkisi (Fen Bilimleri Enstitüsü).
- FAO, (2014). The State of Food and Agriculture. <http://www.fao.org/faostat/> Erişim, Ocak, 2021.
- FAO, (2021). The State of Food and Agriculture. <http://www.fao.org/faostat/> Erişim, Aralık, 2021.
- FAO, (2022). The State of Food and Agriculture. <http://www.fao.org/faostat/> Erişim, Temmuz, 2022.
- Gallego, SM., Pena, LB., Barcia, RA., Azpilicueta, CE., Iannone, MF., Rosales, EP. & Benavides, MP. (2012). Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, 83, 33-46.
- Grewelling, T. & Peech, M. (1960). Chemical Soil Tests, Cornell University, *Agr. Expt. Station Bull., Ithaca, NY*.
- Gupta, SS. & Bhattacharyya, KG. (2008). Immobilization of Pb (II), Cd (II) and Ni (II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium. *Journal Of Environmental Management*, 87(1), 46-58.
- Gücer, D. (1992). Türkiye ticari bentonit killerinin özellikleri ve kullanım alanlarının tespiti. Tübitak, MAM.
- Harris, NS. & Taylor, GJ. (2013). Cadmium uptake and partitioning in durum wheat during grain filling. *BMC plant biology*, 13(1), 1-16.
- Hussain, ST. & Ali, SAK. (2021). Removal of heavy metal by ion exchange using bentonite clay. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1).
- Jackson, ML. (1962). Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering. *Clays And Clay Minerals*, 11(1), 29-46.
- Jafarnejadi, AR., Homae, M., Sayyad, G. & Bybordi, M. (2011). Large scale spatial variability of accumulated cadmium in the wheat farm grains. *Soil and Sediment Contamination*, 20(1), 98-113.
- Kabata-Pendias, A. (1992). Trace metals in soils of poland. *Trace Subst*, 25, 53.
- Kacar, B. (2009). Toprak analizleri. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım (p. 467s).
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. & Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri-I. *Metallurji dergisi*, 136, 47-53.
- Kalinbacak, K., Yurdakul, İ. & Gedikoğlu, İ. (2012). Determination of toxicity limits of cadmium for wheat and comparison of some extraction methods. *Toprak Su Dergisi*, 1(1), 28-37.

- Kalpikli, Y. (2018). İşlem görmemiş ca-bentonit üzerine çinko adsorpsiyonunun reaksiyon koşullarının belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 1004-1012.
- Khan, MR., Aa, HR. & Venkatachalam, G. (2018). Removal of cadmium from aqueous solution using bentonite clay. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 13(4), 353-364.
- Kocaoba, S., Parlak, MD. & Arisoy, M. (2021). The use of Phanerochaete chrysosporium for modification of bentonite for preconcentration and determination of heavy metals. *Journal of Analytical Science and Technology*, 12(1), 1-11.
- Kumararaja, P., Shabeer, TP. & Manjaiah, KM. (2016). Effect of bentonite on heavy metal uptake by amaranth (*Amaranthus blitum* cv. Pusa Kirti) grown on metal contaminated soil. *Indian Journal of Horticulture*, 73(2), 224-228.
- Lindsay, WL. & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428.
- Mi, J., Gregorich, EG., Xu, S., McLaughlin, NB., Ma, B. & Liu, J. (2017). Effect of bentonite amendment on soil hydraulic parameters and millet crop performance in a semi-arid region. *Field Crops Research*, 212, 107-114.
- Olsen, SR. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). *US Department of Agriculture*.
- Orhun, F. (2006) Lalapaşa (edirne) Bentonitlerinin malzeme özelliklerinin ve rutubet kontrolünde kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgülven, A. & Gündüz, L. (2012). Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate. *Cement and Concrete composites*, 34(6), 781-787.
- Özkutlu, F., Öztürk, L., Erdem, H., McLaughlin, M. & Cakmak, I. (2007). Leaf-applied sodium chloride promotes cadmium accumulation in durum wheat grain. *Plant and soil*, 290(1), 323-331.
- Özkutlu, F. (2020). Makarnalık (*Triticum turgidum* L. Durum) buğday Cd konsantrasyonu üzerine değişik (NaCl, KCl ve CaCl<sub>2</sub>) tuz uygulamalarının etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9(1), 145-150.
- Pei, P., Xu, Y., Zheng, S., Liang, X., Sun, Y., Lin, D. & Wang, L. (2021). The use of bentonite and organic amendments for remediation of Cd contaminated fields: An environmental perspective. *Land Degradation & Development*, 32(13), 3639-3652.
- Polat K., Buğday Durum ve Tahmin 2021, Yayın No: 343, 2021, Ankara. (TEBGE,2021)
- Pratt, PF. (1965). Potassium. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 1022-1030.

- Richards, LA. & Ogata, G. (1958). Thermocouple for vapor pressure measurement in biological and soil systems at high humidity. *Science*, 128 (3331), 1089-1090.
- Rizwan, M., Ali, S., Abbas, T., Zia-ur-Rehman, M., Hannan, F., Keller, C. & Ok, YS. (2016). Cadmium Minimization In Wheat: A Critical Review. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 130, 43-53.
- Sdiri, A., Higashi, T., Hatta, T., Jamoussi, F. & Tase, N. (2011). Evaluating the adsorptive capacity of montmorillonitic and calcareous clays on the removal of several heavy metals in aqueous systems. *Chemical Engineering Journal*, 172(1), 37-46.
- Semalulu, O., Elobu, P., Namazzi, S., Kyebogola, S. & Mubiru, DN. (2017). Higher cereal and legume yields using Ca-bentonite on sandy soils in the dry eastern uganda: Increased productivity versus profitability. *Univers. J. Agric. Res*, 5(2), 140-147.
- Stockmeyer, M. & Kruse, K. (1991). Zn ve Ni iyonları ile fenol ve dietilketonların farklı organofiltelerdeki bentonitler tarafından adsorpsiyonu. *Kil Mineralleri*, 26 (3), 431-434.
- Sun, Y., Sun, G., Xu, Y., Liu, W., Liang, X. & Wang, L. (2016). Evaluation of the effectiveness of sepiolite, bentonite, and phosphate amendments on the stabilization remediation of cadmium-contaminated soils. *Journal of Environmental Management*, 166, 204-210.
- Tito, GA., Chaves, LHG., Fernandes, JD. & de Assis Santos e Silva, F. (2017). Removal of cadmium (Cd) from low quality water by bentonite applied in the soil. *Australian Journal of Crop Science*, 11(5), 596-604.
- Uraz, E. (2015). Çinkonun bentonit ile adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- USDA, United States Department of Agriculture <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>
- Usman, ARA., Kuzyakov, Y. & Stahr, K. (2005). Effect of immobilizing substances and salinity on heavy metals availability to wheat grown on sewage sludge-contaminated soil. *Soil & Sediment Contamination*, 14(4), 329-344.
- WHO, (2021). World Health Organization. <https://www.who.int/>. Erişim Ocak, 2021.
- Yaraş, K. & Yıldız Daşgan, H. (2012). Sera koşullarında toprağa uygulanan mikronize-bentonitli-kükürt ve organik maddenin toprak ph'sı, domatesin bitki büyümesi, verimi ve meyve kalitesi üzerine etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 175-180.
- Acır, Y. & Erdem, H. (2020). Biochar uygulamalarının ekmeklik buğdayın kadmiyum (Cd) alımına etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9(2), 327-336.
- Yurdakul, İ., Kalinbacak, K., Terzi, D. & Peker, RM. (2017). Ağır metallerin tarla şartlarında buğday (*Triticum Aestivum L.*) verimine toksik etkisinin belirlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 580-593.

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Dilek Ece
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	

Eğitim Bilgileri	
<b>Lisans</b>	
Üniversite	Pamukkale Üniversitesi
Fakülte	Fen-Edebiyat Fakültesi
Bölümü	Kimya
Mezuniyet Yılı	25.06.2008
<b>Yüksek Lisans</b>	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Programı	Program Adı
Mezuniyet Tarihi	23.09.2022
<b>Yayımlar</b>	